

ISSN 0032-874X

8

1986

ПРИРОДА



Ежемесячный  
популярный  
естественнонаучный  
журнал  
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ

Заместитель главного редактора  
кандидат физико-математических наук  
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТЮШКОВ

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук  
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик  
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР  
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР  
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР  
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук  
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук  
А. А. КОМАР

Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук  
Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь  
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук  
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора  
академик  
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук  
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР  
А. А. СОЗИНОВ

Академик  
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ

Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
Л. П. ФЕОКТИСТОВ

Член-корреспондент АН СССР  
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук  
А. М. ЧЕРЕПАШУК

Доктор физико-математических наук  
В. А. ЧУЯНОВ

На первой странице обложки. Безвирусные растения картофеля с клубеньками, выращенные в пробирках из верхушечной меристемы. См. в номере: На пути к безвирусному растениеводству. (Интервью с И. Г. Атабековым.)

Фото Е. Г. Любинского.

На четвертой странице обложки. Трудно себе представить, что под этими иссушенными солнечным пеклом движущимися песками хранятся немалые запасы пресной воды. См. в номере: Попов К. П. Линзы пресных вод в пустынях.

Фото В. И. Вейсмана.

**В НОМЕРЕ**

- На пути к безвирусному растениеводству. (Интервью с И. Г. Атабековым)** 3  
 Борьба с вирусными инфекциями не проста, а защита от них растений особенно трудна, потому что у растений нет иммунной системы, как у животных. Тем не менее фитовирусологи разрабатывают способы оздоровления культурных растений, которые, будучи внедрены в сельскохозяйственное производство, позволяют сохранить урожай.
- Будыко М. И. Антропогенное изменение климата** 14  
 Хозяйственная деятельность людей становится одним из главных факторов изменения климата Земли. Выброс в атмосферу  $\text{CO}_2$  и других газов приведет к росту температуры, изменению режима осадков, сокращению площади морских льдов.
- Герасимов М. В., Мухин Л. М. Когда и как образовались атмосфера и океаны** 22  
 Формирование планет сопровождалось интенсивной бомбардировкой их поверхности твердыми частицами из протопланетного облака. Анализ этих ударных процессов привел к выводу, что образование атмосферы, гидросферы и протокоры шло параллельно с ростом Земли.
- Балтер Б. М., Егоров В. В. Термодинамика в дистанционном зондировании** 33  
 В космических снимках содержится много информации о земной поверхности. Но как ее правильно извлечь оттуда? Так же, как из спектров анализируемых в физических лабораториях образцов,— с помощью термодинамического подхода.
- КРАСНАЯ КНИГА**
- Бычков В. А., Вишневская Т. Ю. Вселить белобрюхого тюленя в крымские воды** 46  
 В нашей стране есть возможность поселить белобрюхого тюленя в места, где он обитал раньше.
- Богданов Ю. А., Подражанский А. М. Руды на подводных горах** 49  
 Необычный ландшафт увидели гидронавты через иллюминаторы «Пайсиса» на глубине около 1,5 км. Поверхность пологих склонов оказалась покрытой чехлом черных рудных корок и железо-марганцевых конкреций.
- Зарипов Р. Х. Компьютер в исследовании и сочинении музыки** 59  
 Моделирование на ЭВМ процессов сочинения музыки — это еще один шаг на пути к научному познанию глубинных закономерностей творчества. От первых музыкальных автоматов до современных компьютерных систем простирается этот путь.
- Жданов Г. Б., Максименко В. М., Славатинский С. А. Эксперимент «Памир»** 70  
 Результаты этого международного эксперимента, который вот уже 15 лет ведется в горах Восточного Памира, заставляют во многом пересмотреть современные представления о свойствах космических лучей и частиц сверхвысоких энергий.
- Малиновский А. А. Старость с точки зрения эволюциониста** 81  
 С точки зрения эволюциониста, длительность жизни вида обусловлена генетически, как и любой биологический признак.

*В переписке двух выдающихся ученых-биологов обсуждаются философские проблемы инвариантов, рационализма, вероятностного понимания мира. Но главное в ней — высокая атмосфера нравственности, вне которой немислима жизнь обоих корреспондентов.*

**Попов К. П. Линзы пресных вод в пустынях**

101

*Под движущимися барханными песками обнаружены десятки «хранилищ» пресной воды, имеющих линзовидную форму. Проблема их происхождения обсуждается уже несколько десятилетий.*

**ДИАЛОГ С ЧИТАТЕЛЕМ**

Итоги читательской анкеты

104

**НОВОСТИ НАУКИ**

107

Запуски космических аппаратов в СССР (март—апрель 1986 г.) (107) • «Союз Т-15» (107) • Спутники «Спот-1» и «Викинг» (108) • Изучение полярных областей Солнца (109) • «Горячая» модель формирования галактик (109) • Новый метод измерения постоянной Хаббла (110) • Ферромагнетизм, вызванный изменением концентрации носителей (110) • Сверхпроводимость и магнетизм соединений с тяжелыми фермионами (111) • Возбуждение активной среды лазера (111) • Импульсные ультрафиолетовые лазеры для фотолитографии (111) • Курение повреждает ДНК плаценты (112) • Онкобелок вызывает дифференцировку клеток (112) • Как работают клетки-убийцы (113) • Соматолиберин вместо соматотропина (113) • Вакцина против опухолей (113) • Гормоны стресса и интеллектуальная нагрузка (114) • Что такое вздрагивание? (114) • Бактерии, питающиеся пестицидами (115) • Крабы, которые дышат ногами (115) • Гнезда птиц на вулканогенных термальных полях (116) • Загадка морской змеи (117) • Пастбища могут превратиться в пустыню (117) • 104-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн» (118) • Осадки в дельте Хуанхэ (119) • Гидротермы в зоне сверхскоростного спрединга (119) • Рождение подводного вулкана (120) • Лиственничные леса в раннем голоцене Арктики (121)

**РЕЦЕНЗИИ**

**Баладин Р. К.** Научное творчество и личность (на кн.: Маркин В. А. Петр Алексеевич Кропоткин. 1842—1921)

122

**Губин Б. М.** Природа Казахстана в фотографиях (на кн.: Жемчужины Казахстана; (Алатау)

124

**НОВЫЕ КНИГИ**

125

**Филиппов А. Т.** Многоликий солитон (125) • **Коггл Дж.** Биологические эффекты радиации (126) • **Козенко А. В.** Джеймс Хопауд Джинс. 1877—1946 (126)

**В КОНЦЕ НОМЕРА**

**Иориш Ю. И.** История экзаменационной машины «СОТИЗ»

127



**В сельском хозяйстве увеличить среднегодовой объем валовой продукции... главным образом за счет... внедрения новейших достижений науки... Совершенствовать организацию семеноводства и улучшить качество семян. Комплексно применять биологические, агротехнические и химические приемы борьбы с сорняками, вредителями и болезнями растений.**

Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года

## На пути к безвирусному растениеводству

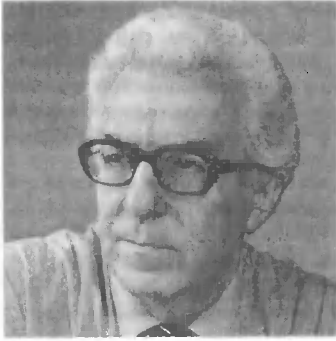
Человечество в борьбе с вредителями сельскохозяйственных культур изобрело разнообразные средства — гербициды, фунгициды, инсектициды — для уничтожения многих сорняков, грибов, насекомых. Но есть еще одна группа организмов — вирусы, которые отнимают значительную часть урожая, а иногда полностью губят его. Изучением вирусных болезней, поисками и разработкой средств и способов борьбы с фитовирусами заняты специалисты всего мира. В подобных работах, проводимых в СССР, принимают участие исследователи многих учреждений. Академик ВАСХНИЛ И. Г. Атабеков, возглавляющий эти работы, в интервью нашему корреспонденту Л. П. Беляновой рассказывает, как решается проблема борьбы с вирусными заболеваниями, как фундаментальные исследования в традиционных и новейших направлениях биологии помогают решать проблемы, связанные с выполнением Продовольственной программы СССР.

**Корреспондент.** В вирусологии, возникшей как самостоятельная биологическая наука в середине нашего века, сначала изучались только вирусы, вызывающие серьезные заболевания. И сразу же определились две ветви — вирусология животных и вирусология растений. Наши читатели знакомы только с некоторыми патогенными вирусами человека и животных. Поэтому стоит, видимо, сначала, хотя бы и очень кратко, рассказать о фитовирусах — вирусах растений, а потом уже перейти к безвирусному растениеводству. Не могли бы Вы дать общую характеристику строения фитовирусов и их отличий, если они существуют, от вирусов животных?

**И. Г. Атабеков.** Строение фитовирусов разнообразно. Они так же, как и вирусы животных, могут содержать в качестве генетического материала РНК или ДНК, причем

нельзя сказать, какие из них преобладают, из известных пока фитовирусов обнаружено больше РНК-содержащих. Форма, размер, структура вирусных частиц, способность к самовоспроизведению тех или иных структурных единиц у фитовирусов различны. Условно вирусы растений можно разделить на простые и сложные. Чаще всего простые вирусы состоят из нуклеиновой кислоты — РНК или ДНК, которая заключена в оболочку, построенную, как правило, из одинаковых белковых субъединиц. Простые вирусы обычно разделяют на 3 морфологических класса: сферические, с диаметром частиц от 30 до 80 нм; палочковидные, длина которых может достигать 300 нм; нитевидные, с длиной частиц от 500 нм до 2 мкм.

Сложные фитовирусы обычно содержат много различных структурных белков, ферменты, липиды, углеводы. Строением



Иосиф Григорьевич Атабеков, академик Всесоюзной Академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина (ВАСХНИЛ), доктор биологических наук, заведующий кафедрой вирусологии биологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, заведующий отделом биохимии вирусов Межфакультетской проблемной научно-исследовательской лаборатории молекулярной биологии и биоорганической химии им. А. Н. Белозерского МГУ, заведующий отделом вирусологии Института микробиологии АН СССР. Основные работы посвящены изучению основ взаимодействия вируса с клеткой, молекулярной организации вирусов и их структурных компонентов, механизмов выражения вирусного генома, явлениям комплементации у вирусов растений, а также исследованию проблем оздоровления сельскохозяйственных растений. Автор нескольких монографий, в том числе: Молекулярная биология вирусов (в соавторстве с В. И. Аголом, Т. И. Тихоноко, В. Н. Крыловым). М., 1971; Реализация генетической информации вирусных РНК. М., 1972.

такие фитовирусы часто напоминают некоторые вирусы животных. По международной системе классификации фитовирусы разделены на 25 групп, с различными признаками и свойствами каждая.

Недавно обнаружены возбудители болезней растений, которые представляют собой «голую» РНК, без каких-либо белков. Названы такие частицы виридами, их одноницевая РНК очень невелика — всего 230—350 нуклеотидов — и сильно спирализована.

**Корреспондент.** Известно, что от вирусных болезней страдают многие виды млекопитающих, птиц, рыб, амфибий, насекомых и даже бактерий. Высока ли частота таких заболеваний в растительном мире и каковы признаки болезни?

**И. Г. Атабеков.** Фактически любое растение в дикой природе может быть заражено тем или иным вирусом. В настоящее время в мире уже описано более 600 фитопатогенных вирусов, и их список постоянно пополняется. На территории нашей страны зарегистрировано 140 различных фитовирусов. Что касается культурных сортов, то сейчас выявляется печальная картина: детально исследуя любое сельскохозяйственное растение, в нем почти всегда можно обнаружить вирус. Вот лишь очень ограниченный список растений, зараженных вирусными болезнями: картофель, сахарная свекла, плодовые, ягодные, зерновые, бобовые, цветочные культуры, виноград, хмель, цитрусовые. Особенно распространены вирусные заболевания сельскохозяйственных культур, которые размножаются вегетативно — клубнями, черенками, луковичками.

Симптомы вирусного заболевания иногда не заметны совсем, иногда они проявляются очень слабо, но есть и такие, которые ярко выражаются во внешнем виде

растения. Некоторые из подобных признаков человеку знакомы давно, хотя об их связи с вирусами никто не подозревал, да и о самих вирусах тоже. Например, скручивание листьев картофеля известно уже несколько столетий, тюльпаны с пестрыми лепестками даже специально выращивали в Голландии, начиная с XVI в.

Независимо от того, проявляется болезнь внешне или нет, растения дают невысокий урожай, их продукция бывает низкого качества, а с годами состояние растений ухудшается. Эти последствия вирусной инфекции тоже давно знакомы и земледельцам и ученым всех стран мира, но, не зная о существовании вирусов, снижение урожая и ухудшение его качества объясняли вырождением сорта.

**Корреспондент.** Как происходит заражение вирусами растений? Есть ли у них, что применительно к человеку и животным называют входными воротами инфекции? Обладают ли специфичностью фитовирусы или один и тот же вирус может вызывать заболевание разных видов растений?

**И. Г. Атабеков.** Вирусы могут внедряться и размножаться в любом органе или ткани растений, хотя и могут преимущественно концентрироваться в отдельных участках листьев, лепестков, корней. И тогда появляются внешние признаки в виде желтых или омертвевших пятен на зеленом листе, светлые полосы на цветном лепестке, вздутия на корнях. Только в верхушечной меристеме ткани, которая долго сохраняет способность делиться и образовывать новые клетки, не бывает вирусных частиц, даже если все другие ткани инфицированы.

Инфекция легко передается с соком растения при одновременном механическом повреждении больного и здорового

растения, во время удаления боковых побегов или при пересадке рассады. Распространяют болезни и насекомые-переносчики, чаще всего тля и цикады, а также почвенные нематоды, растительноядные клещи, низшие грибы. Размножившиеся переносчики иногда вызывают эпифитотии (эпидемии среди растений) и приводят к гибели культуры на полях. Например, в 60-х годах в Краснодарском крае вспыхнула эпифитотия, вызванная вирусом полосатой мозаики пшеницы, переносчиком которого был один из растительноядных клещей. В результате пшеница погибла на 50 тыс. гектаров.

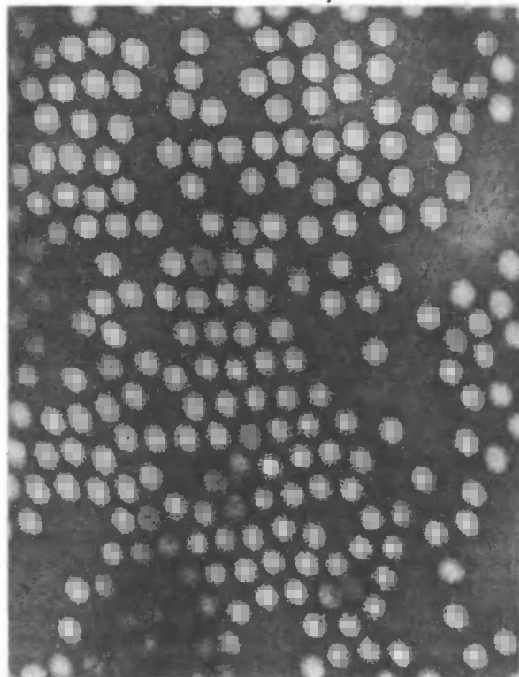
Естественно, что из больных черенков, клубней и луковиц вырастают новые растения, тоже зараженные вирусом. Вирусная инфекция передается также и через семена, но гораздо реже, чем через вегетативные органы, а вирусные болезни злаковых и некоторых других культур могут передаваться даже через пыльцу.

Каждый вирус, независимо от того, вызывает он болезнь у животных или расте-

ний, может заражать только определенный набор организмов-хозяев. Рекордное число растений заражает вирус мозаики огурца: он может вызывать заболевание растений, принадлежащих 64 самым разным ботаническим семействам. Часто растения бывают одновременно инфицированы несколькими вирусами. Поскольку вирусная болезнь может передаваться через почву, воду, воздух, она быстро распространяется в посадках культурных растений и приводит к фактически полному заражению полей.

**Корреспондент.** Мы знаем, что в организме животных и человека существуют защитные механизмы, предотвращающие развитие многих инфекций. Это мощная система иммунитета. Известно также, что растения можно предохранить от заболеваний, вызываемых низшими грибами, и даже вылечить заболевшие. Для этого применяют фунгициды — различные неорганические и органические соединения. Существует ли подобная защита от вирусных болезней в мире растений?

Микроэлектронная фотография вируса, вызывающего пеструю окраску лепестков гвоздики.



Микроэлектронная фотография Y-вируса картофеля. При заболевании, к которому приводит инфицирование этим вирусом, развиваются некротические пятна на листьях.





Шампиньоны: здоровый гриб (вверху) и зараженный вирусом. У больного гриба вырастает тонкая длинная ножка, рано раскрывается покрывало, что затрудняет хранение шампиньона, а масса его обычно бывает меньше, чем у здорового.

**И. Г. Атабеков.** К сожалению, у растений нет активной иммунной системы, подобной иммунной защите у животных. Поэтому не известны в привычном понимании профилактические или лечебные вакцины. Не найдены и химические средства, которые действовали бы столь же эффективно, как фунгициды, и уничтожали бы вирусы в растительном организме.

**Корреспондент.** Но если сами растения не обладают иммунной системой, если бессильны химические средства, что может спасти растения от вирусных инфекций? Какие меры необходимы для того, чтобы заменить на полях больные культуры здоровыми?

**И. Г. Атабеков.** В первую очередь нужно получить исходный безвирусный посадочный материал, затем научиться быстро размножать его и предупредить повторное заражение. Каждый из этих этапов очень трудоемок и находится на разной стадии разработки. Рассмотрим их по отдельности.

Получение частично оздоровленного посадочного материала — задача уже решенная. По существу своему — это метод культуры тканей, который в нашей стране был разработан в Институте физиологии растений им. К. А. Тимирязева АН СССР группой физиологов под руководством Р. Г. Бутенко. Я уже говорил, что верхушечная меристема в зараженном растении не содержит вирусных частиц, значит, если новое растение вырастет из меристемы, оно будет свободным от вирусов. Культивирование верхушечной, или апикальной, меристемы начинается с того, что срезают верхнюю часть побега растения, стерилизуют и в стерильных условиях вычленивают кончик его величиной 0,2—0,3 мм. Из этой изолированной ткани, помещенной в пробирку с питательной средой, и развивается новое растение. Сложность такого способа оздоровления в том, что от размера изолированной ткани зависит успех конечного результата: чем меньше кусочек ткани, тем меньше его шанс превратиться в растение; но ткань не должна быть и большой, иначе в нее попадут клетки, зараженные вирусом. Золотую середину не всегда удается найти, поэтому с помощью культуры апикальной меристемы можно достичь лишь частичного оздоровления, обычно только 30—50 % выросших из меристемы растений оказываются безвирусными.

На следующем этапе меристемные растения черенкуют и из каждого черенка снова выращивают растение. Затем их пересаживают в горшки и получают клубни, луковицы, семена. Все эти этапы по оздоровлению проводят сначала в специальных камерах, где поддерживаются стерильные условия, нужные для роста растений температура и освещенность, а затем в теплицах. Первый урожай, выросший в теплицах, идет для получения семенного фонда на семеноводческих станциях. Такие стан-



ции должны находиться вдали от сельскохозяйственных полей, чтобы не заражались безвирусные культуры. Семенной материал со станций размножается далее в крупных семеноводческих хозяйствах, которые поставляют его в сельскохозяйственное производство.

Таким образом, безвирусное растениеводство проходит длинный путь от меристемных растений до полей. Этот путь, по-видимому, можно сократить, по крайней мере, для картофеля. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте прикладной молекулярной биологии и генетики (ВНИИПМБГ) ВАСХНИЛ группой сотрудников под руководством О. С. Мелик-Саркисова найдены условия выращивания меристемного картофеля, при которых в пробирке образуются величиной с горошины клубеньки. Высаживая их на семеноводческих станциях, можно избежать выращивания картофеля в горшках, при этом отпадает необходимость в теплицах; развившееся из клубеньков растение образует больше по сравнению с меристемным клубней; клубеньки можно хранить 1,5—2 года.

Но как бы ни получали безвирусный семенной материал на всех стадиях, начиная от апикальной меристемы и до полей семеноводческих хозяйств, нужно тщательно следить за тем, нет ли зараженных вирусами экземпляров, т. е. необходимо постоянно вести отбраковку инфицированных растений. С этим, пожалуй, и связаны основные трудности безвирусного растениеводства. Чтобы выявить зараженные растения, необходимы не только высокочувствительные и быстрые методы диагностики, но и технические средства, с помощью которых можно проводить массовые анализы. Требуемый объем диагностических работ огромен. Уже сейчас в семеноводческих хозяйствах нашей страны ежегодно проводится от 5 до 15 млн анализов, а необходимо анализировать сотни миллионов растений картофеля, плодовых, технических и ягодных культур, винограда, хмеля, шампиньонов, гвоздики, хризантем, тюльпанов и т. д.

**Корреспондент.** Диагностика многих вирусов животных уже разработана. Как обстоят дела с выявлением фитовирусов, есть ли методическое сходство в диагностике вирусов животных и растений?

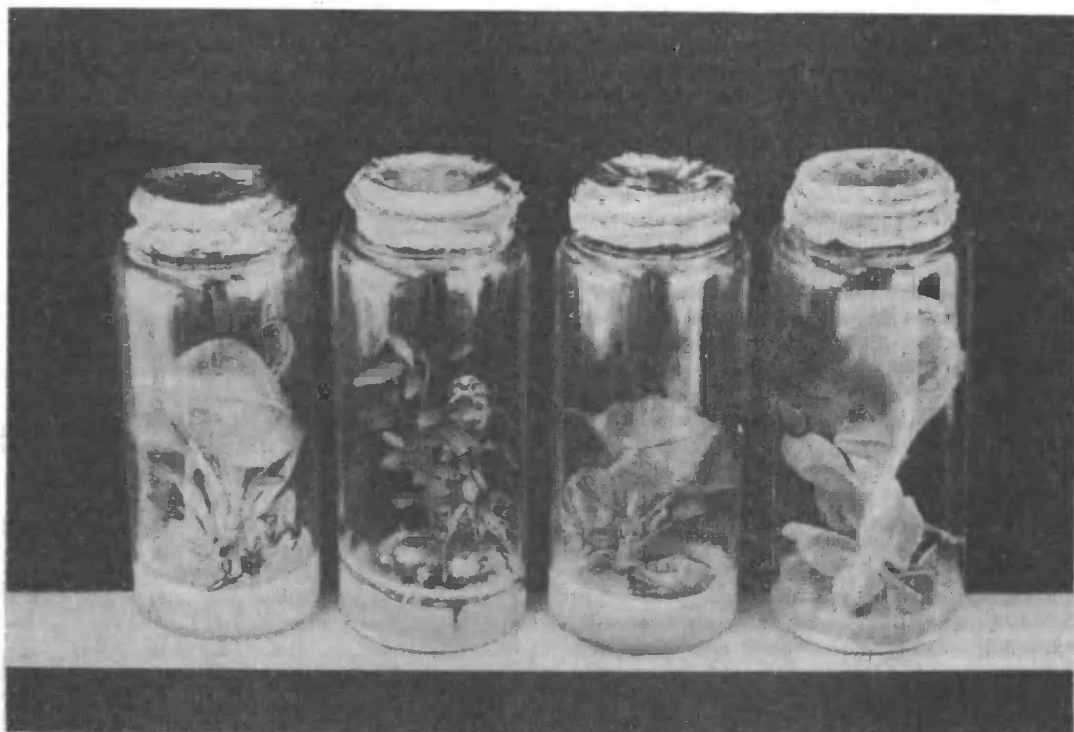
**И. Г. Атабеков.** Безусловно, в основе диагностики вирусов растений и животных много общего. Та же, например, пред-

шествующая непосредственной диагностике стадия выделения вирусных частиц, тот же способ получения антител к вирусам, те же иммунологические методы выявления вируса. Но есть и своя специфика, обусловленная большими различиями растительного и животного организма, и тем, что диагностические методы должны быть приспособлены к нуждам и возможностям сельскохозяйственного производства.

Я не буду говорить об изучении свойств самого вируса, потому что в приложении к культурным растениям речь идет только об уже изученных вирусах. Первый, додиагностический этап, связанный с выделением чистых вирусных препаратов, не так прост, как может показаться. Содержание вируса в больном растении часто очень низко — доли миллиграммов в килограмме листьев, а чтобы получить диагностические сыворотки для семеноводческих хозяйств всей страны, требуется значительное количество чистого вируса. Поэтому очень хорошие лабораторные методы выделения приходится модифицировать для практической работы, разрабатывать другие, простые и доступные методы, не требующие дорогостоящих оборудования и реактивов. На такую разработку иногда уходят годы. К настоящему времени в МГУ разработаны методы выделения и очистки 27 фитопатогенных вирусов, в том числе 7 вирусов картофеля. Это лишь очень небольшая часть того, что нужно сделать, у вирусологов растений впереди много работы.

**Корреспондент.** Вы сказали, что фитовирусологи испытывают большие затруднения с наработкой вирусных препаратов, необходимых для дальнейшей иммунизации животных. Нельзя ли обратиться за помощью к бактериям, нельзя ли заставить их производить характерные участки вирионов? Ведь генно-инженерными методами исследователи уже добились того, что микроорганизмы синтезируют многие необходимые человеку соединения, например антибиотики, инсулин, гормон роста, интерферон.

**И. Г. Атабеков.** Безусловно, получать антигены фитовирусов с помощью генной инженерии было бы гораздо выгоднее, чем выделять из растительной ткани вирионы и очищать их традиционными методами. Для этого необходимо в бактериальные плазмиды встроить ДНК-копию гена, ответственного за синтез белка оболочки патогенного вируса, заставить работать этот ген в клетке бактерии. Получив клон таких бак-



Оздоровленные безвирусные растения, выращенные из верхушечной меристемы (слева направо): мандрагора, дикий лимон, яблоня, табак.

терий, их можно размножать в производственных установках и получать необходимое для диагностических сывороток количество белка. Пока в нашей стране генно-инженерный метод получения вирусных антигенов только разрабатывается.

**Корреспондент.** Вы упоминали об общности способов получения антител к фитовирусам и вирусам животных, об одинаковых иммунологических методах диагностики. Но ведь у растений нет иммунной системы, в чем же суть иммунодиагностики фитовирусов?

**И. Г. Атабеков.** Фитовирусы можно обнаружить с помощью сыворотки крови, содержащей антитела к тому или иному вирусу. Естественно, что для этого эксплуатируют иммунную систему животных. В этом нет ничего нового или удивительного,

вирусное заболевание человека тоже обычно диагностируется при посредстве сыворотки иммунизированного животного. Но процедура приготовления диагностических сывороток с помощью постоянной иммунизации животных достаточно дорога.

Сейчас есть возможность получать специфические антитела более дешевым способом. Для диагностики вирусов животных успешно используются моноклональные антитела, которые получают гибридной техникой. Хотя и эта техника не обходится без иммунизации животных, гибридные клетки — продукт слияния клеток, производящих антитела, и клеток злокачественной лимфомы — способны неограниченно долго жить в культуре и продолжать синтезировать при этом антитела строгой специфичности. В культуральной среде удается получить около 0,05 мг/мл моноклональных антител, еще больше (до нескольких миллиграммов) можно выделить из сыворотки крови и асцитной жидкости, если гибридомы размножать в организме мышей.

Пока моноклональные антитела для диагностики фитовирусов не стали обычной принадлежностью диагностических лабораторий, но работа по их получению про-

водится в Институте биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР и в Институте химической и биологической физики АН ЭССР. Исследователи стремятся получить гибридные клетки, которые могли бы синтезировать антитела к консервативным, т. е. одинаковым, антигенным детерминантам разных штаммов одного и того же вируса. На наш взгляд, такие антитела очень нужны для диагностики фитовирусов, так как редкий патогенный вирус существует в виде единственного штамма.

**Корреспондент.** Полученные диагностические сыворотки с поли- или моноклональными антителами используют дальше для выявления зараженных вирусами растений. Какие способы уже применяются для этого в растениеводстве, а какие разрабатываются как наиболее перспективные?

**И. Г. Атабеков.** Пожалуй, от самого начала зарождения вирусологии диагностика вирусных болезней основывалась на иммунологических методах, т. е. на реакции антитела с антигеном. В такой реакции антитела сыворотки крови связываются с антигенами — вирусными частицами, и в результате образуется осадок. Этот метод, известный как метод капельной агглютинации, и до сих пор применяется для выявления вирусных инфекций культурных растений. Конечно, он прост и тем хорош для сельскохозяйственных нужд, но, увы, у него есть серьезный недостаток. Чувствительность метода крайне невысока, поэтому с его помощью можно обнаружить только вирусы, накапливающиеся в листьях в высокой концентрации, например вирус табачной мозаики, X-вирус картофеля. Методом капельной агглютинации нельзя выявить такие вредоносные вирусы, как Y- и A-вирусы картофеля, из-за недостаточной концентрации вирионов, по этой же причине не удается установить зараженность клубней, луковиц и меристемных растений.

Сейчас существует множество иммунологических методов. На мой взгляд, для нужд безвирусного растениеводства хороши два из них — метод виробактериальной агглютинации и иммуноферментный. Первый метод основан на способности клеточной оболочки некоторых штаммов золотистого стафилококка удерживать антитела за счет их взаимодействия с так называемым белком А, который содержится в оболочке бактерий. Если клетки стафилококка с расположенными на их поверхности антителами смешать с каплей сока из зараженного растения, в равномерно мутной

капле образуются хорошо видимые хлопья. С помощью метода виробактериальной агглютинации удается определить зараженность растения с концентрацией вируса около 0,1 мкг/мл.

Этот метод разрабатывался совместно в МГУ, Институте микробиологии АН СССР и Институте химической физики АН СССР. Сейчас метод внедрен в двух подмосковных хозяйствах — колхозе им. С. М. Кирова и совхозе «Оранжевый комплекс», а также в Научно-исследовательском институте картофельного хозяйства Агропрома РСФСР. В Таллине выпускается диагностический комплект для идентификации вирусов картофеля виробактериальным методом.

Само название второго метода — иммуноферментный — говорит о том, что в реакции антиген-антитело участвует еще и фермент. Этот дополнительный компонент иммунологической реакции служит как бы усилителем ее результатов, делает результат реакции видимым невооруженным глазом. Существует множество модификаций иммуноферментного метода, из которых наиболее чувствителен и специфичен так называемый сэндвич-метод. Метод назван так не случайно, в нем компоненты иммунологической реакции как бы наслаиваются друг на друга: на твердом носителе (обычно это микроплата из полистирола или других синтетических материалов, из стекла, некоторых производных целлюлозы) закрепляется слой антител, на нем — антиген, т. е. вирусные частицы из сока растения, а затем снова слой антител, но не чистых, а предварительно сшитых с ферментом, чаще всего с пероксидазой. Обычно используют ферменты, при взаимодействии которых с субстратом образуется цветной продукт реакции. Добавив субстрат ферментативной реакции, по появлению цветного окрашивания судят о наличии вирусных частиц в соке растения. Если воспользоваться спектрофотометром, по интенсивности появляющейся окраски можно определить и количество вируса в растении.

Иммуноферментный метод по чувствительности приближается к радиоиммунологическому. Чтобы установить вирусную болезнь растения, требуется несколько миллиграммов растительного материала, следовательно, для анализа можно брать ткань из разных органов, фактически не повреждая растения. Этим методом можно контролировать зараженность и многолетних плодоносящих растений, и рассады, и семенного фонда — клубней, луковиц, меристемных растений.

**Корреспондент.** Используется ли иммуноферментный метод в сельскохозяйственной практике нашей страны или это пока лабораторные разработки?

**И. Г. Атабеков.** Нет, это уже не лабораторный вариант, метод внедрен сейчас в совхозе «Оранжевый комплекс», в колхозе «Ярва-Яани» в Эстонии, им пользуются Научно-исследовательские институты картофельного и овощного хозяйства. Сотрудниками МГУ и Всесоюзного научно-исследовательского института прикладной молекулярной биологии и генетики разработаны несколько модификаций иммуноферментного анализа для диагностики 27 вирусов важнейших сельскохозяйственных культур. На основе этих разработок с использованием поликлональных антител в НИИ картофельного хозяйства начат выпуск диагностических комплектов к шести вирусам картофеля. Группой вирусологов Института химической и биологической физики АН ЭССР разработана технология получения моноклональных антител, которые используют в иммуноферментном методе тоже для диагностики вирусов картофеля. В колхозе «Ярва-Яани» начали выпускать диагностические комплекты на основе моноклональных антител. В общей сложности в нашей стране для иммуноферментного метода сейчас налажено производство диагностических комплектов к 6 вирусам картофеля: X, Y, S, M, F и вирусу скручивания листьев.

Заинтересованность вирусологов, занимающихся освобождением растений от вирусов, новыми методами иммунодиагностики вполне понятна: с их помощью за короткое время можно выявить зараженность на ранних стадиях. Выбравывая большие экземпляры, можно создать систему действительно безвирусного семеноводства картофеля и безвирусного растениеводства в целом.

**Корреспондент.** Каковы практические результаты применения новых методов иммунодиагностики и оздоровления культурных растений?

**И. Г. Атабеков.** Весьма ощутимые. В НИИ картофельного хозяйства удалось полностью, а не частично оздоровить посадочный материал и из оздоровленного картофеля вырастить урожай вдвое больший обычного — 200 ц с гектара вместо 100. Хороший пример результатов оздоровления и диагностики вирусов картофеля — его урожай в некоторых странах СЭВ, с

которыми мы сотрудничаем. Так, в Германской Демократической Республике из безвирусного семенного картофеля в среднем по стране собирают по 256 ц/га.

Если в нашей стране наладить строгий государственный контроль зараженности семенного картофеля и других культур, введя комплексную систему сертификации (мероприятий по производству высококачественного семенного материала с выдачей сертификата — свидетельства, официально удостоверяющего качество посадочного материала) удастся регулярно собирать высокий урожай в масштабах всей страны.

**Корреспондент.** Коль скоро очень многое в оздоровлении культурных растений зависит от диагностики, что делается сейчас, чтобы диагностические методы стали поистине массовыми, чтобы их можно было применять во всем сельскохозяйственном производстве?

**И. Г. Атабеков.** Здесь большое поле деятельности для многих специалистов. Диагностика — это конечный этап, на котором выявляется зараженность фитовирусом. Но сначала нужно взять пробу, т. е. ткань листьев, клубней, луковиц, получить из нее сок (экстракт). Этот процесс нужно автоматизировать; автоматическим должен быть и сам иммунологический анализ, и регистрация его результатов. В последние годы различные модели приборов-автоматов для иммунодиагностики разработаны в МГУ совместно с предприятиями Министерства электронной промышленности СССР. Последняя модель сейчас проходит испытания в НИИ картофельного хозяйства Агропрома РСФСР для оценки качества работы в производственных условиях.

**Корреспондент.** По-видимому, чтобы решить проблему оздоровления сельскохозяйственных растений от вирусов, недостаточно иметь уже разработанные в фундаментальных и прикладных исследованиях методы, мало создать и необходимые для их проведения специальные приборы. Вероятно, необходимы какие-то организационные мероприятия?

**И. Г. Атабеков.** Прежде всего, для организации системы безвирусного растениеводства нужна Государственная служба диагностики вирусов. В ее функции должны входить контроль за выполнением агротехнических приемов по выращиванию элитного посадочного материала и его ис-

пользованию в сельскохозяйственном производстве, а также организация и проведение сертификации оздоровленного посадочного материала. Такую службу предполагается создать в ближайшее время. В дополнение к этому в системе ВАСХНИЛ планируется создание Центральной лаборатории контроля и стандартизации средств диагностики. Но пока этого, к сожалению, нет, а обеспечить такую службу диагностики необходимо как можно скорее, иначе растениеводство никогда не будет безвирусным. Отсутствие системы диагностики делает неэффективной всю работу по оздоровлению культурных растений. Но в безвирусном растениеводстве есть и другие трудности. Одна из них — борьба с переносчиками вирусов. В СССР не налажен учет численности насекомых-переносчиков и оповещение о сроках проведения защитных мероприятий, очень мало пестицидов, предназначенных, например, для борьбы с тлей. Во многих учреждениях, занимающихся безвирусным растениеводством, нет хороших специалистов фитовирусологов, а фитовирусами злаковых культур вообще никто не занимается.

**Корреспондент.** Приведенные Вами примеры показывают, что используя безвирусный посадочный материал, можно получить высокий урожай. А можно ли оценить, во сколько обходится получение одного безвирусного растения и сколь рентабельно безвирусное растениеводство?

**И. Г. Атабеков.** Сегодня себестоимость получения безвирусного материала еще достаточно высока, особенно дорого стоит получить безвирусные плодовые растения. Например, цена одной яблони составляет 215 рублей, вишни — 183, груши — 124, земляники — 22, малины — 10, причем 80 % затрат приходится на диагностический этап, который, к тому же, занимает 2—3 года. Новые высокочувствительные методы диагностики, которые оправдали себя в применении к картофелю, позволяют проводить анализ за 2 часа, а стоимость такого анализа составляет 10—20 копеек. По программе «Биотехнология» начата работа с патогенными вирусами плодовых, ягодных культур и винограда, ведь отечественное садоводство нуждается в миллионах саженцев и подвоев, не зараженных вирусами.

Сейчас можно предсказать, что мероприятия по оздоровлению, массовой диагностике вирусов в посадочном материале и его сертификации, проведенные в государственном масштабе, позволят повысить

урожайность важнейших культур не менее чем на 25 %. Исходя даже из этого показателя, доход от внедрения только безвирусного семеноводства картофеля составит более 3 млрд рублей.

**Корреспондент.** По-видимому, получением безвирусного посадочного материала не ограничиваются мероприятия по борьбе с вирусными болезнями сельскохозяйственных растений? Ведь существует опасность повторного заражения, поскольку инфекционное начало может передаваться с помощью переносчиков, через почву, по воздуху. Так ли безнадежна, как кажется, защита растений от инфекций?

**И. Г. Атабеков.** Угроза нового заражения чистых растений реально существует, и, естественно, ведутся поиски активных специфических ингибиторов, которые могли бы подавить репродукцию вирусов в клетках растений. Сейчас уже известны десятки таких ингибиторов, но, к сожалению, ни один из них не нашел широкого применения в сельскохозяйственной практике. Такое положение объясняется тем, что репродукция вирусных частиц непосредственно связана с клеточными процессами, поэтому вещества, которые блокируют размножение вирусов, могут повреждать и сами растения, т. е. они обладают фитотоксическим эффектом. Из ингибиторов сейчас применяются 2-тиоурацил, 8-азагуанин — оба производные оснований нуклеиновых кислот. Но применяются они в крайне ограниченном масштабе.

В последние годы вирусологи исследуют свойства так называемого рибовиррина, но и его действие не лишено фитотоксичности, а кроме того, в одних растениях он нарушает образование вирусных частиц, а в других не действует на тот же самый вирус. Применяется и термотерапия, и ее эффективность нередко более высока, чем активность химических ингибиторов.

Удивительное явление, показавшееся специалистам даже неправдоподобным, было открыто в лаборатории вирусолога И. Села в 1982 г. Была обнаружена способность лейкоцитарного интерферона человека подавлять размножение вируса табачной мозаики. Мало того, в экспериментах И. Села с сотрудниками одинаково действовал как природный интерферон, так и рекомбинантный — полученный методами генной инженерии. В опытах, проведенных совместно с В. И. Огарковым, мы не только подтвердили этот результат, но



выяснили, что лейкоцитарный интерферон человека подавляет также репродукцию X-, Y-, F-, M-вирусов картофеля, вирусов шампиньонов и некоторых других растений. Под действием интерферона фактически полностью погибают те виды вирусов, у которых скорость распада частиц достаточно велика, а образование новых может блокировать интерферон. Эти результаты приводят к выводу, что интерферон можно рассматривать как специфический ингибитор вирусов.

Сотрудниками нашей кафедры в МГУ и специалистами некоторых предприятий Министерства медицинской и микробиологической промышленности СССР изучается возможность применения отечественного рекомбинантного интерферона в практическом растениеводстве. Найдет ли этот препарат широкое применение, покажет будущее.

Не исключено, что в практических целях для лечения растений можно будет применять растительные белки, функционально сходные с интерфероном. Известно, что в животных клетках интерферон стимулирует синтез необычных олигонуклеотидов: они состоят только из остатков аденина, соединенных между собой через 2' и 5' атомы углерода в углеводной части нуклеотида, а не через 3' и 5' атомы как обычно в нуклеиновых кислотах. Эти-то олигонуклеотиды и обладают противовирусным действием. В последние годы в растениях тоже найден противовирусный фактор, который, как и интерферон, стимулирует синтез олигонуклеотидов.

В безвирусном растениеводстве настолько важно предупредить повторное заражение оздоровленных растений, что поиски специфических ингибиторов ведутся неустанно.

**Корреспондент.** Мы знаем теперь, что нельзя получить вакцины против фитовирусов, так как у растений нет иммунной системы. Но судя по тому, что есть дикие растения и культурные сорта, устойчивые к вирусным болезням, должны, видимо, быть какие-то защитные механизмы, свойственные всем растительным организмам. А если так, то получать и выращивать устойчивые к вирусным инфекциям сорта, вероятно, и есть самый надежный способ сделать растениеводство безвирусным?

**И. Г. Атабеков.** Да, конечно, чтобы на сельскохозяйственных полях росли только безвирусные культуры, одного оздоров-

ления явно недостаточно. Работы по оздоровлению должны идти рука об руку с селекцией, с отбором растений, устойчивых к патогенным фитовирусам. Нет сомнения, что селекционеры в содружестве с вирусологами, генными инженерами, генетиками и другими специалистами справятся с этой сложной задачей. Селекционные работы уже начаты, но, к сожалению, ведутся они почти вслепую, без понимания тонких механизмов, контролирующих противовирусную устойчивость. Причина этого проста: нам, вирусологам, еще неизвестны эти механизмы, мы только исследуем определяющие устойчивость факторы.

**Корреспондент.** Механизм вирусной инфекции — от проникновения вирусных частиц до ярко выраженного заболевания — представляет собой несколько стадий. Можно ли сейчас хотя бы предположить, на каких стадиях и по каким причинам у устойчивых к вирусам растений останавливается инфекционный процесс?

**И. Г. Атабеков.** Исходя из общих сведений по молекулярной вирусологии и биологии, вирусная инфекция может блокироваться на любой стадии размножения вирусных частиц: на первых фазах инфекции, т. е. во время их проникновения, адсорбции на клеточных рецепторах и освобождения нуклеиновой кислоты из оболочки вириона; при репликации и трансляции вирусной РНК; во время сборки зрелых вирусных частиц и распространения вируса из первично зараженных клеток в соседние здоровые. Однако, как известно, теоретические выводы не всегда совпадают с экспериментальными результатами. Занимаясь изучением противовирусной устойчивости на кафедре вирусологии МГУ, мы выяснили, что первые стадии инфекции не играют существенной роли в дальнейшем развитии болезни. Предположить этого мы не могли, ведь развитие вирусной инфекции у животных часто зависит от того, сумеет ли вирус прикрепиться к рецепторам чувствительных клеток.

Чтобы понять роль других стадий в природной устойчивости к фитовирусам, нужны детальные исследования. Они, безусловно, проводятся, и уже есть интересные результаты. Выяснилось, что существует так называемая экстремальная устойчивость, при которой блокирована репродукция вирусных частиц. При зара-

жени растений с таким типом устойчивости вирус первоначально попадает в очень небольшое число клеток и не распространяется дальше или потому, что в клетке растения-хозяина отсутствуют какие-то факторы, необходимые для репликации вирусной РНК, или потому, что синтезируются клеточные вещества, которые останавливают репродукцию вирионов. Экстремальную устойчивость проявляют некоторые сорта томата при заражении вирусом табачной мозаики, а также редис и турнепс, если их инфицировать вирусом мозаики костра.

Обнаружен и еще один тип устойчивости — факультативный. Он обусловлен тем, что размножившиеся в первично зараженных клетках вирусы не могут попасть в соседние клетки. Причины этого пока непонятны, но интересно, что нарушенный транспорт генетического материала вируса можно восстановить, если растение заразить еще одним вирусом. Этим, видимо, объясняются случаи, когда устойчивые к вирусу табачной мозаики сорта томата становятся восприимчивыми к этому вирусу в присутствии X-вируса картофеля. Смешанные инфекции очень опасны для культурных растений, так как их устойчивость оборачивается восприимчивостью.

**Корреспондент.** Как это ни странно, но в приложении к растениям применяется понятие вакцинация. Что это за явление и действительно ли можно предупредить вирусные инфекции растений?

**И. Г. Атабеков.** Это не что иное, как явление индуцированной устойчивости: если растение инфицировать слабо патогенным штаммом вируса, оно становится устойчивым и к заражению суровым штаммом этого же вируса. Такой прием нередко применяется в сельскохозяйственной практике, но я считаю, что к подобной вакцинации нужно относиться с осторожностью, и вот почему. В лаборатории после вакцинации слабым штаммом можно не только заразить растение сильным, а, более того, оно может стать восприимчивым даже к вирусу другого вида. Иными словами, вместо подавления вирусных инфекций проявляется синергическое действие двух патогенных вирусов. Принимая во внимание подобный синергизм, вакцинацию можно проводить только в контролируемых условиях, т. е. в закрытом грунте.

**Корреспондент.** Итак, для безвирусного растениеводства, вернее, для его первой фазы — оздоровления больших сортов, в нашей стране есть все необходимое: налажен метод выращивания меристемных растений; найдены способы получения диагностических сывороток, а некоторые из них уже выпускаются; разработаны новые методы иммунодиагностики; проходит испытания автоматическая установка для иммунодиагностики. Правильно ли считать, что все это полностью отвечает возможностям современной науки и нет необходимости в каком-либо дальнейшем совершенствовании той или иной стадии?

**И. Г. Атабеков.** Вряд ли можно так считать. Я не берусь говорить о выращивании меристемных растений — это работа физиологов. А вирусологи заняты разработкой принципиально новых методов диагностики, поскольку даже самые лучшие из существующих не идеальны. Иммунологические методы все же дороги, хотя бы потому, что для любого из них необходимы антитела, а значит, и животные для иммунизации.

Группой сотрудников нашей кафедры в МГУ и Института молекулярной биологии АН СССР разрабатывается неиммунологический метод диагностики вирусов и вириодов. Суть его — в молекулярной гибридизации РНК вируса или вириода из сока растений с ДНК-копией какой-либо части той же РНК. Такая ДНК-копия и служит диагностическим препаратом. Чтобы получить его, вводят в плазмиду кишечной палочки (*Escherichia coli*) ДНК-копию 3'-концевого участка РНК вируса, а затем получают клоны бактерий с такой вставкой вирусного генома. Уже получены клоны для X-, S-, M- и Y-вируса картофеля. Теперь, чтобы иметь основной материал диагностического препарата — ДНК-копию части вирусного генома, будет достаточно наращивать нужные клоны бактерий в производственном ферментере.

На мой взгляд, будущее диагностики вирусов в сельскохозяйственном производстве — за такими неиммунологическими методами. И, безусловно, результаты фундаментальных и прикладных исследований, связанных с оздоровлением культур, а также с селекцией устойчивых к вирусным инфекциям растений, должны как можно быстрее внедряться в практическое растениеводство.

## Антропогенное изменение климата

М. И. Будыко

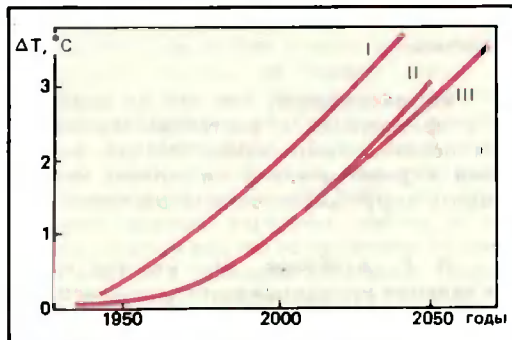


Михаил Иванович Будыко, член-корреспондент АН СССР, заведующий отделом исследований изменений климата и влагооборота в атмосфере Государственного гидрологического института Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Занимается проблемами физической климатологии и эволюции биосферы. Автор ряда монографий, в том числе: Глобальная экология. Л., 1978; Климат в прошлом и будущем. Л., 1980; Эволюция биосферы. Л., 1984. Лауреат Ленинской премии. Неоднократно печатался в «Природе».

На протяжении последних 15 лет среди климатологов утвердилось мнение, что под воздействием хозяйственной деятельности человечества климат Земли изменяется в сторону потепления. Главной причиной потепления считают рост в атмосфере концентрации  $\text{CO}_2$  и некоторых других газов, прозрачных для солнечной радиации, но ослабляющих длинноволновое излучение с поверхности Земли. Усиливая парниковый эффект атмосферы, они повышают температуру нижнего слоя воздуха.

Первые реалистические оценки возможного повышения среднегодовой температуры приземного слоя атмосферы, обусловленного увеличением концентрации  $\text{CO}_2$  в течение следующего столетия, были сделаны в начале 70-х годов<sup>1</sup>.

Расчеты показали, что за 100 лет температура повысится примерно на  $2,5^\circ$ . Это приведет к уменьшению количества осадков, выпадающих в некоторых среднеширотных областях неустойчивого увлажнения, и сокращению площади морских полярных льдов. За прошедшие годы появилось немало аналогичных оценок, выполненных отдельными исследователями, национальными и международными научными



Прогнозируемое повышение средней температуры нижнего слоя атмосферы: I, II — по расчетам советско-американской группы экспертов (1982), III — по расчетам автора (1971).

ми организациями, и большинство из них соответствует первому прогнозу.

Однако необходимый для обеспечения запросов народного хозяйства климатический прогноз отнюдь не ограничивается оценкой среднегодовой глобальной температуры. Необходимы детальные сведения об изменениях температуры и количества осадков в отдельных географических районах. Для этого нужно рассчитать предстоящие изменения химического состава атмосферы, оценить роль других факторов,

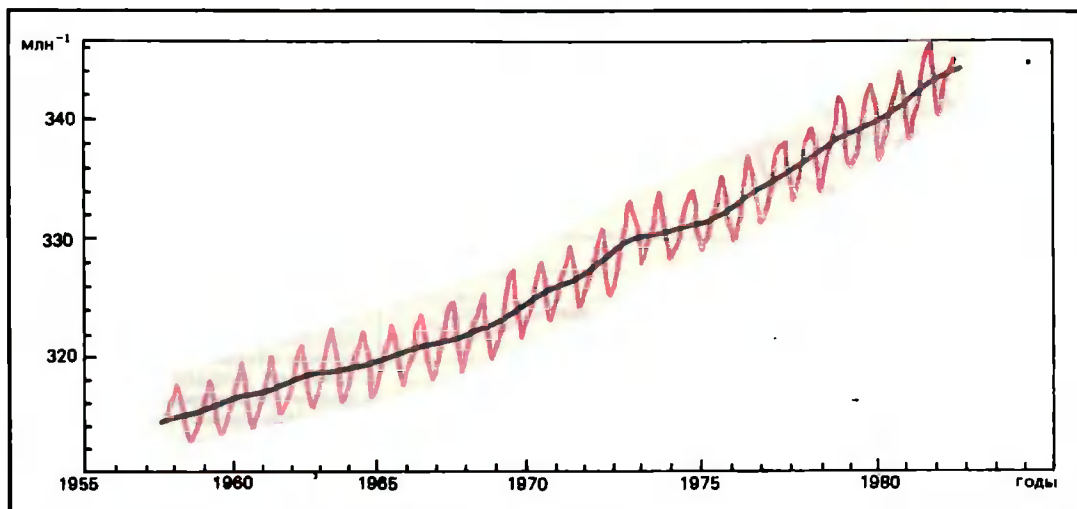
<sup>1</sup> Будыко М. И. Влияние человека на климат. Л., 1972. С. 47.

которые могут повлиять на климат будущего, определить «чувствительность» климата к изменениям влияющих на него факторов.

### УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ И МАЛЫЕ ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ

Систематические наблюдения за концентрацией в атмосфере  $\text{CO}_2$  были начаты в 1958 г. при проведении Международного геофизического года. Через несколько лет выяснилось, что количество  $\text{CO}_2$  почти оди-

280 млн<sup>-1</sup>. К началу систематических наблюдений (1958 г.) эта величина достигла 315 млн<sup>-1</sup>. С 1958 по 1980 г. концентрация возросла на 22 млн<sup>-1</sup>. Исследования показали, что увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  за счет промышленных выбросов могло бы составить 39 млн<sup>-1</sup>, но 17 млн<sup>-1</sup>  $\text{CO}_2$  было поглощено океаном<sup>2</sup>. Это очень важный вывод, так как роль океана в балансе  $\text{CO}_2$  до недавнего времени была не совсем ясна, и иногда высказывалось предположение, что вся масса  $\text{CO}_2$ , образовавшаяся в ре-



Рост концентрации  $\text{CO}_2$  в воздухе с 1958 по 1984 г., по данным метеостанции Мауна-Лоа (Гавайские о-ва) (цветная кривая — годовые колебания концентрации, черная — среднегодовые значения). Обращает на себя внимание исключительная равномерность ежегодного повышения концентрации  $\text{CO}_2$ . Средняя скорость повышения массы  $\text{CO}_2$  в атмосфере за 27 лет превышает 0,3 % в год.

наково повышается на метеорологических станциях, удаленных друг от друга на громадные расстояния. Причина этого — сжигание все возрастающего количества угля, нефти и других видов углеродного топлива. В результате в настоящее время в атмосферу ежегодно поступает примерно  $1,8 \times 10^{16}$  г  $\text{CO}_2$ . Это примерно 0,8 % от количества  $\text{CO}_2$ , которое содержалось в атмосфере в доиндустриальную эпоху, т. е. до середины XIX в. По некоторым оценкам, концентрация  $\text{CO}_2$  в это время составляла

результате хозяйственной деятельности, растворяется в его водах. В целом количество  $\text{CO}_2$  в атмосфере по сравнению с доиндустриальной эпохой возросло на 20—25 %. При сохранении до конца XX в. современных темпов расходования углеродного топлива в 2000 г. концентрация  $\text{CO}_2$  достигнет 380—390 млн<sup>-1</sup>.

Оценки на XXI в. менее точны, так как не совсем ясны тенденции развития энергетики разных стран и регионов. К тому же, пока нет единой модели круговорота углерода в биосфере. Но при использовании наиболее обоснованных схем дальнейшего развития энергетики и разных моделей углеродного цикла получают довольно близкие значения концентрации  $\text{CO}_2$  в

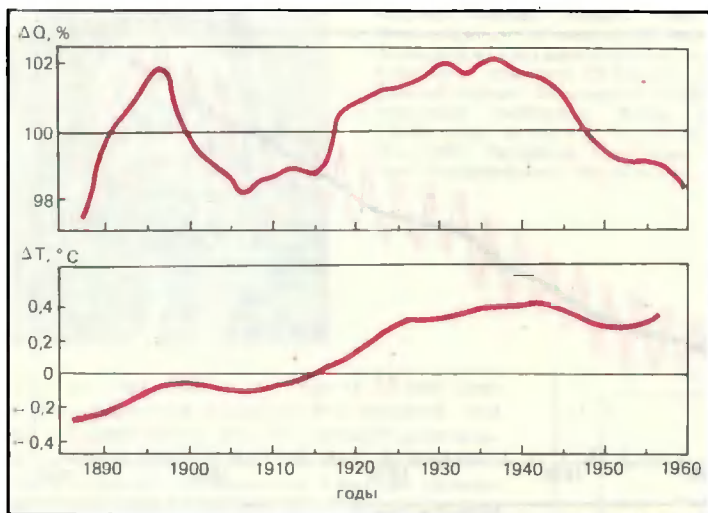
<sup>2</sup> Эти расчеты приведены в отчете Советско-американского совещания экспертов по проблеме влияния роста количества углекислого газа в атмосфере на климат, опубликованном в кн.: Влияние увеличения количества углекислого газа в атмосфере на климат. Л., 1982. С. 56.

XXI в. — в середине или во второй половине следующего столетия она удвоится по сравнению с доиндустриальной эпохой.

Если будут использованы все известные сейчас запасы углеродного топлива (что маловероятно для XXI в.), концентрация  $\text{CO}_2$  увеличится в 6—10 раз по сравнению с серединой прошлого столетия. Однако такой рост все же возможен в более далеком будущем, когда, вероятно, будут обнаружены новые ресурсы углеродного топлива.

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КЛИМАТА К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ

Для прогноза антропогенного изменения климата необходимо иметь надежные количественные оценки чувствительности климата к изменениям климатообразующих факторов. Вопрос об определении чувствительности климата может быть разрешен при учете структуры климатической системы и главных закономер-



Отклонение от средних значений прямой солнечной радиации  $\Delta Q$  при безоблачном небе (вверху) и среднегодовой температуры у поверхности Земли (внизу), усредненное по десятилетним периодам. Увеличение солнечной радиации в конце XIX в. и в 30-х годах XX в. сопровождалось повышением в эти периоды температуры, что позволяет считать изменение радиации, обусловленное нестабильностью прозрачности атмосферы, существенным фактором колебаний климата.

Первый максимум на температурной кривой выражен слабее второго, что объясняется влиянием термической инерции климатической системы, и, главным образом, верхнего слоя океана.

Кроме  $\text{CO}_2$  в современной атмосфере содержится ряд газов, которые, представляя собой малую часть общего объема атмосферы («малые примеси»), тем не менее также могут оказывать влияние на климат, усиливая парниковый эффект атмосферы. Часть этих примесей полностью антропогенного происхождения, некоторые из них в ограниченном количестве содержались в атмосфере и ранее. К их числу относят фреоны (хлорфторуглеродороды), окислы азота, метан и некоторые другие газы.

Нет сомнения, что количество малых примесей растет. Однако прогноз потепления климата из-за их влияния более труден по сравнению с прогнозом влияния  $\text{CO}_2$ , так как прогнозы роста концентрации этих газов менее надежны. Максимальные оценки увеличения температуры малыми примесями совпадают с повышением температуры, вызванным ростом концентрации  $\text{CO}_2$ . Более осторожные прогнозы приведены в уже упомянутом советско-американском отчете — примеси усилят эффект  $\text{CO}_2$  на 30—60 %.

ностей генезиса климата. Климатическая система включает те части внешних оболочек Земли, в которых развиваются физические и химические процессы, оказывающие непосредственное влияние на климат. К этим оболочкам относят атмосферу, гидросферу, криосферу и верхний сравнительно тонкий слой литосферы.

Главные внешние факторы, влияющие на климат, — приток солнечной радиации на внешнюю границу атмосферы, газообмен литосферы с атмосферой и гидросферой, а также строение земной поверхности. Очевидно, что и хозяйственная деятельность человека должна рассматриваться как существенный внешний фактор изменений климата.

В исследованиях чувствительности климата к воздействию на него хозяйственной деятельности обычно оценивается значение  $\Delta T_c$  — разности между средней глобальной температурой нижнего слоя атмосферы при удвоенной по сравнению с доиндустриальной эпохой концентрации  $\text{CO}_2$  в воздухе и средней глобальной тем-

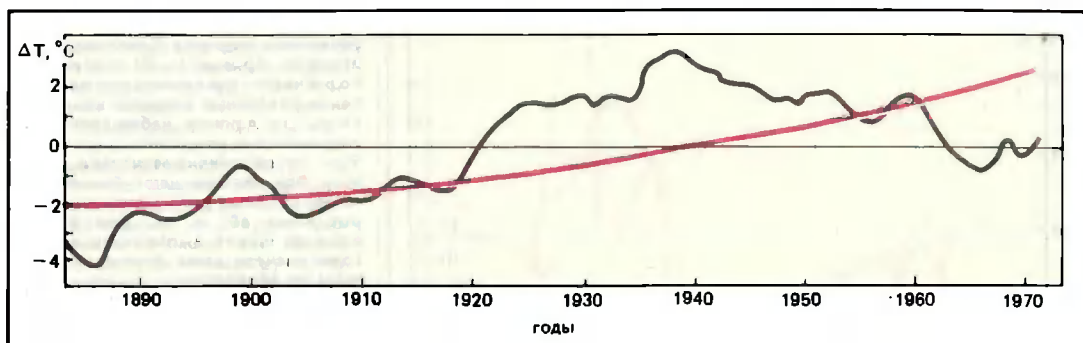


пературой в конце XIX в. На протяжении ряда лет такие оценки выполнялись с помощью различных моделей теории климата. Из этих расчетов следовало, что при удвоении концентрации  $\text{CO}_2$  средняя глобальная температуры нижнего слоя атмосферы повысится на 1,5—4,5 °C. Такой диапазон оценок  $\Delta T_c$  свидетельствует об ограниченной точности современных моделей теории климата.

Поэтому на протяжении последних лет разрабатывались и другие оценки

**Количество  $\text{CO}_2$  в конце фанерозоя**

Эпохи фанерозоя, млн лет назад	Длительность эпохи, млн лет	Концентрация $\text{CO}_2$ , %
Палеоцен (67—58)	9	0,076
Эоцен (58—37)	21	0,120
Олигоцен (37—25)	12	0,032
Миоцен (25—9)	16	0,076
Плиоцен (9—2)	7	0,045



Изменение среднегодовой температуры нижнего слоя атмосферы Северного полушария (черная кривая) и рассчитанное изменение температуры под влиянием роста концентрации  $\text{CO}_2$  (цветная линия). Ход температурной кривой, составленной по данным наблюдений метеорологических станций, в основном совпадает с тенденцией повышения температуры из-за роста количества  $\text{CO}_2$ .

чувствительности климатической системы к изменениям концентрации  $\text{CO}_2$ . Один из наиболее надежных методов оценки основан на обобщении материалов наблюдений за современными естественными колебаниями климата, второй — за изменениями климата, происходившими в геологическом прошлом.

По данным наблюдений за температурой нижнего слоя атмосферы на мировой сети метеорологических станций можно рассчитать среднюю температуру для каждого года за период около ста лет (ранее число метеорологических станций было недостаточным для более или менее точных оценок. Вычисленная по этим материалам  $\Delta T_c$  составляет 2—4 °C.

Второй метод оценки чувствительности климата к изменениям концентрации

$\text{CO}_2$  основан на использовании данных о климатических условиях более теплых эпох геологического прошлого. Их можно считать аналогами климата будущего, измененного в результате роста количества  $\text{CO}_2$  в атмосфере.

Выполненные в течение последнего десятилетия детальные исследования химического состава атмосферы в конце фанерозоя показали, что во все рассмотренные эпохи концентрация  $\text{CO}_2$  была выше концентрации в XIX в., равной 0,028 %<sup>3</sup>.

В конце фанерозоя количество  $\text{CO}_2$  в атмосфере понизилось. Наиболее похожим на климатические условия будущего можно считать климат неогена (миоцен и плиоцен), когда конфигурация материков и строение земной поверхности меньше отличались от современных по сравнению с более ранними эпохами. По палеоклиматическим данным, величина  $\Delta T_c$  лежит в интервале 2,8—3,5 °C.

Таким образом, оба этих метода дают среднее значение  $\Delta T_c$ , близкое к 3 °C, совпадающее со средним значением, рассчитанным по математическим моделям климата. Согласованность трех независимых методов определения параметра

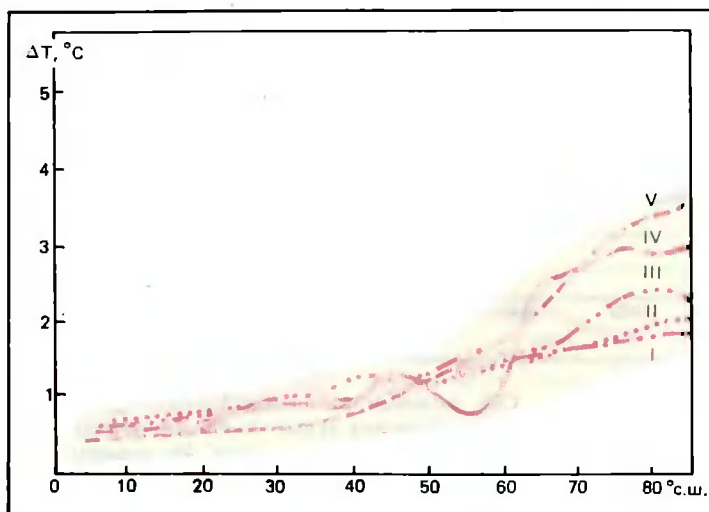
<sup>3</sup> Будыко М. И., Ронов А. Б., Яншин А. Л. История атмосферы. М., 1985. С. 124.

$\Delta T_c$  доказывает достоверность найденного значения.

Наряду с этим, эмпирические исследования подтвердили вывод, ранее сделанный при теоретических расчетах, что зависимость температуры нижнего слоя воздуха от концентрации  $\text{CO}_2$  имеет логарифмический характер. Очевидно, что при происходящем сейчас потеплении средняя температура воздуха фактически повысится несколько меньше по сравнению с расчетами для стационарных условий из-за термической инерции климатической системы, и в

будущем. Эта тенденция сохранится и в ближайшем будущем. Поэтому есть основания считать, что повышение средней глобальной температуры должно быть меньше оценок для стационарных условий примерно на 30 %.

Вопрос о влиянии термической инерции климатической системы на антропогенное повышение температуры рассматривался в ряде теоретических работ. В исследованиях, где были использованы наиболее обоснованные модели теплообмена в океанах, полученные оценки совпадают с выво-



Относительные значения повышения среднегодовой температуры на различных широтах Северного полушария. Кривые I—III построены по расчетам, сделанным при применении различных моделей климата, IV — по данным наблюдений за современным изменением климата, V — по палеоклиматическим данным. Все методы дают более или менее сходные результаты для широт ниже 60° с. ш. Для более высоких широт эмпирические методы расчета дают большие величины по сравнению с модельными, что, по-видимому, отражает недостаточно точный учет в теоретических моделях динамики морских полярных льдов, существенно влияющих на температуру воздуха в Арктике.

частности верхних слоев океанических вод. Эмпирические данные свидетельствуют о сравнительно небольшом влиянии нестационарности на антропогенное повышение температуры. Так, оказалось, что уменьшение стратосферным аэрозолем притока радиации, поступающей на верхнюю границу тропосферы на 1 %, понижает температуру у земной поверхности на 1,2 °C. Этот расчет был выполнен по средним данным за тридцатилетний интервал времени. По модельным расчетам, в стационарных условиях такое изменение притока тепла соответствует понижению температуры воздуха на 1,5—2,0 °C. Следовательно, термическая инерция климатической системы для указанного интервала времени уменьшает изменение средней температуры приблизительно на 20—40 %.

Как показывают расчеты, основная часть современного антропогенного повышения температуры обусловлена изменением химического состава атмосферы, произошедшим за немногие последние деся-

летиями упомянутого выше эмпирического расчета<sup>1</sup>.

### ОЖИДАЕМОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

Оценка предстоящего антропогенного изменения климата состоит из нескольких этапов. Первый — расчет изменения концентрации  $\text{CO}_2$  и малых примесей, о котором мы уже говорили.

Второй этап — оценка возможного изменения средней глобальной температуры нижнего слоя атмосферы. Если считать, что с XIX в. до нашего времени концентрация углекислого газа повысилась с 280 млн<sup>-1</sup> до 345 млн<sup>-1</sup>,  $\Delta T_c$  равно 3 °C, а термическая инерция составляет около 30 %, то оказывается, что средняя температура воздуха за счет антропогенных факторов повысилась на 0,6 °C. К 2000 г. темпе-

<sup>1</sup> Бютнер Э. К. // Изв. АН СССР. Сер. «Физ. атм. и океана». 1983. № 8. С. 892—895.

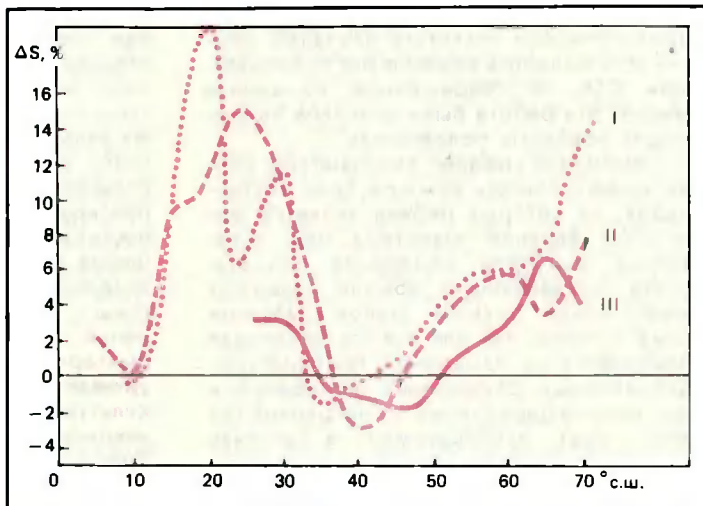
ратура возрастет на  $1^{\circ}\text{C}$  или несколько больше из-за роста концентрации малых примесей.

Во второй половине XXI в. после удвоения концентрации  $\text{CO}_2$  потепление, вероятно, замедлится из-за менее широкого использования углеродного топлива, что ослабит влияние термической инерции на изменение климата. Наряду с этим повышение средней температуры за счет роста количества  $\text{CO}_2$  должно заметно увеличиться под влиянием роста массы малых примесей. В соответствии с этим повышение

ческие методы дают более высокую чувствительность термического режима к увеличению концентрации  $\text{CO}_2$  по сравнению с результатами расчетов по моделям общей теории климата. Можно думать, что это отличие отражает недостаточно точный учет в теоретических моделях динамики морских полярных льдов, существенно влияющих на температуру воздуха в Арктике.

В случае повышения средней глобальной температуры нижнего слоя воздуха на  $1^{\circ}\text{C}$  из-за роста концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере среднее количество осадков за-

Распределение разности годовых сумм осадков  $\Delta S$ , выпадающих в различных широтных зонах континентов, для случая повышения средней глобальной температуры нижнего слоя воздуха на  $1^{\circ}\text{C}$  из-за роста концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Кривая I построена по палеоклиматическим данным, II — по расчетам по модели общей циркуляции атмосферы, III — по данным наблюдений за современным изменением климата. Все кривые хорошо согласуются между собой, что свидетельствует о реальности полученных результатов. При глобальном потеплении среднее количество осадков заметно возрастет в зонах, расположенных между  $10$  и  $30^{\circ}$  с. ш. и к северу от  $50^{\circ}$  с. ш. Между  $30$  и  $50^{\circ}$  с. ш. количество осадков уменьшится.



температуры в 2050 г. будет не меньше  $3^{\circ}\text{C}$ .

Эти выводы довольно хорошо согласуются с прогнозом ожидаемого повышения температуры, приведенным в отчете Советско-американского совещания. К 2000 г. она повысится на  $1-2^{\circ}\text{C}$ ; к 2025 — на  $2-3^{\circ}\text{C}$ ; к 2050 — на  $3-5^{\circ}\text{C}$ .

Третий этап оценки климатических условий будущего — выяснение пространственного распределения ожидаемых изменений. Эта задача рассматривалась для средних по широте температур воздуха и количества осадков, выпадающих на континентах. По моделям теории климата, палеоклиматическим материалам и данным о современных изменениях климата были рассчитаны относительные значения повышения средней годовой температуры на различных широтах Северного полушария. Все методы оценки относительного изменения температуры дали более или менее сходные результаты для широт ниже  $60^{\circ}$  с. ш. Для более высоких широт эмпири-

чно возрастает в зонах  $10-30^{\circ}$  с. ш. и к северу от  $50^{\circ}$  с. ш. В зоне  $30-50^{\circ}$  с. ш. отмечается тенденция к уменьшению количества осадков.

Полученные данные свидетельствуют о возможности подготовки научно обоснованной оценки предстоящего изменения климата, но такая оценка, как отмечено выше, должна быть сделана не только для широтных зон, но и для конкретных районов. В последние годы были составлены карты изменения ряда элементов климата в результате роста концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, относящиеся к некоторым географическим областям.

#### ОЦЕНКА РОЛИ АНТРОПОГЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В современных исследованиях глобальных изменений климата обычно используют данные о вековом ходе температуры Северного полушария, где находится

основная часть существующих метеорологических станций. В последние годы столетние временные ряды средней годовой приземной температуры воздуха Северного полушария независимо получены в СССР, США и Великобритании.

Анализ этих данных показывает, что в среднем за истекшее столетие приземная температура воздуха в Северном полушарии колебалась в пределах  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , возрастая со средней скоростью около  $0,5^\circ\text{C}/100$  лет. Самое высокое значение средней температуры воздуха за столетний период наблюдалось в 1981 г.

В 1977—1983 гг. в Государственном гидрологическом институте изучалась возможность выделить влияние роста концентрации  $\text{CO}_2$  на современное изменение климата. Эта работа была основана на следующих исходных положениях.

Аномалии средней температуры воздуха можно считать суммой трех составляющих, из которых первая является результатом влияния известных нам естественных факторов изменения климата. Вторую составляющую обычно называют климатическим шумом (такое название весьма условно, так как эта составляющая складывается из изменений температуры, обусловленных случайными колебаниями атмосферной циркуляции, из погрешностей оценок всех используемых в анализе материалов и из изменений температуры под влиянием тех естественных факторов, которые не учтены в расчетах). Третья составляющая обусловлена антропогенными факторами. Она и должна быть найдена при анализе данных о наблюдениях изменений средней температуры.

Единственный фактор естественных изменений глобального климата, действие которого несомненно установлено по данным наблюдений на актинометрических станциях, — колебания прозрачности атмосферы, обусловленные изменениями концентрации аэрозоля в стратосфере.

Анализ показывает, что гипотеза, предполагающая отсутствие влияния  $\text{CO}_2$  на современное изменение средней температуры воздуха, отвергается с вероятностью, превышающей 99 %. Таким образом, исследование закономерностей современного изменения климата позволит со значительной достоверностью установить воздействие на него антропогенных факторов<sup>5</sup>.

Обнаруженное увеличение средней глобальной температуры воздуха на  $0,6^\circ\text{C}$  в наше время по сравнению с доиндустриальной эпохой мало заметно широким кругам населения и поэтому может казаться незначительным. Однако не учитывать его было бы явной ошибкой.

Ограничимся упоминанием только двух отраслей народного хозяйства, существенно зависящих от климата, — земледелия и водного хозяйства. Как урожай сельскохозяйственных культур, так и режим рек (а следовательно, и возможность их использования) заметно изменяются даже при небольших колебаниях климата. Влияние таких колебаний на развитие этих отраслей хозяйства в ближайшие годы зависит не столько от повышения температуры воздуха, сколько от изменения режима увлажнения, в частности повышения частоты засух. Правда, учащение засух для сельского хозяйства в известной мере компенсируется воздействием на продуктивность сельскохозяйственных растений повышения концентрации  $\text{CO}_2$ , но все же это воздействие сильнее всего проявляется в годы с благоприятными условиями увлажнения. В результате действия этих двух факторов возрастает разброс в величине урожая основных сельскохозяйственных культур. Наряду с этим в ряде районов увеличивается изменчивость стока рек. Учет в хозяйственном планировании этих явлений может иметь большое экономическое значение.

Что касается антропогенных изменений климата в XXI в., то, по имеющимся оценкам, они будут очень велики. Как отмечалось, в этом веке заметно переместятся современные природные зоны, исчезнут многолетние морские полярные льды и т. д.

Поскольку хозяйство всех без исключения стран мира существенно зависит от климатических условий, потребуются громадные капиталовложения, чтобы приспособить его к новому метеорологическому режиму.

Период времени, для которого необходимо иметь сведения об изменении климата, по-видимому, сравним с вероятной длительностью эксплуатации проектируемых сейчас промышленных и сельскохозяйственных сооружений и систем. Для наиболее долговечных сооружений этот отрезок времени достигает 50—100 лет.

Еще один критерий оценки длительности периода климатического прогноза — время, необходимое для подготовки и проведения мероприятий, приспособляющих хозяйство к изменениям климата. Учиты-

<sup>5</sup> Будыко М. И., Винников В. Я. // Метеорол. и гидрология. 1983. № 9. С. 14—26.

вая, что их осуществление потребует решения многих сложных научных и технических проблем, следует думать, что это время не может быть меньше нескольких десятилетий. Таким образом, желательно иметь сведения о возможных изменениях климатических условий на период до 50—100 лет.

Так как оценки климатических условий будущего должны использоваться в долгосрочном планировании хозяйственной деятельности, очевидна необходимость достижения возможно большей достоверности этих оценок. Поскольку даже самые достоверные материалы о климате будущего имеют довольно схематический характер, требуется разработка методов наиболее рационального использования этих материалов.

Можно думать, что для ближайших лет сведения о климатических условиях и гидрологическом режиме будущего целесообразно использовать в виде дополнения к существующим справочникам, которые содержат обобщение данных гидрометеорологических наблюдений за последние десятилетия. По мере получения новых материалов такое дополнение должно детализироваться и уточняться.

\*

На протяжении многих лет сведения о климатических условиях прошлого, полученные в наблюдениях на сети метеорологических станций, рассматривались как бесспорный прогноз, который использовался при решении всех практических задач, зависящих от климата. Выполненные за последние годы исследования показали, что такой подход к оценке климата будущего не может считаться правильным. Современный климат уже отличается от климата недавнего прошлого, причем это отличие быстро возрастает со временем. Поэтому определение климатических условий будущего становится одной из важнейших научных проблем.

В нашей стране, благодаря хорошей организации работ по физической климатологии, вопрос о неизбежности глобального антропогенного изменения прояснился уже в 70-х годах. В конце 70-х годов эта проблема обсуждалась на Первой всемирной конференции по климату<sup>6</sup> и всесоюзных совещаниях.

Сходные выводы о предстоящем изменении климата были сделаны Д. Смаго-

ринским в отчете Национальной академии наук США в 1983 г.<sup>7</sup>.

В октябре 1985 г. в Филлахе (Австрия) состоялась международная конференция, посвященная оценке влияния на изменение климата роста концентрации углекислого и некоторых других радиационно активных газов в атмосфере. Участники конференции, организованной Всемирной метеорологической и другими международными научными организациями, приняли Декларацию, обращенную к правительствам всех стран мира.

В Декларации говорится, что изменение химического состава воздуха приведет через несколько десятилетий к столь значительному изменению климата, которого никогда не происходило на протяжении истории человечества. Оно окажет огромное влияние на экологические системы, сельское хозяйство, водные ресурсы и морской лед. Далее отмечается ошибочность существующей сейчас практики принимать важные решения в области экономического и социального развития на основании представления о сохранении в будущем климатических условий недавнего прошлого. Такой подход нельзя применять при проектировании и строительстве крупномасштабных ирригационных и энергетических сооружений, планировании сельскохозяйственного производства и решении ряда других важных задач. В связи с этим получение оценок климатических условий близкого будущего является безотлагательным делом чрезвычайной важности.

При неизбежности предстоящего антропогенного изменения климата скорость и степень будущего потепления может существенно зависеть от планов развития энергетики в различных государствах, правительства которых должны учитывать эту зависимость.

В Декларации отмечается, что необходимо поддерживать исследования предстоящего изменения климата, поставлен вопрос о подготовке в будущем всемирной конвенции по проблеме антропогенного изменения климата. Содержание Декларации совещания в Филлахе очень близко к выводам, сделанным несколько лет назад в работах советских ученых.

<sup>7</sup> Changing Climate. Nat. Acad. Sci. Washington, 1983. P. 496.



## Когда и как образовались атмосфера и океаны

М. В. Герасимов, Л. М. Мухин



Михаил Владимирович Герасимов, кандидат физико-математических наук, начальник конструкторской бригады Института космических исследований АН СССР. Занимается вопросами происхождения и эволюции планетных атмосфер.



Лев Михайлович Мухин, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией того же института. Область научных интересов — происхождение планетных атмосфер и биосфер, химические процессы в планетных атмосферах. Автор популярных книг: *Планеты и жизнь*. М., 1980; *В нашей Галактике*. М., 1983.

### ИСТОЧНИК АТМОСФЕРНЫХ ГАЗОВ

Проблема возникновения и эволюции атмосферы и океанов — одна из наиболее волнующих в науках о Земле. Она тесно связана с проблемой образования планеты, ее развития, происхождения жизни на ней. Несмотря на накопленный за последние годы значительный объем научных данных, нет однозначного понимания того, когда и как образовались атмосфера и океаны. Причина — почти полное отсутствие информации о геологических процессах, происходивших в первый миллиард лет существования Земли. Единственное, о чем свидетельствуют самые древние известные земные породы, возраст которых достигает 3,8 млрд лет,

что в те далекие времена Земля уже обладала и атмосферой, и гидросферой, и биосферой. Именно из-за отсутствия прямой информации о состоянии молодой Земли существуют различные, порой взаимоисключающие точки зрения о механизмах образования атмосферы и океанов.

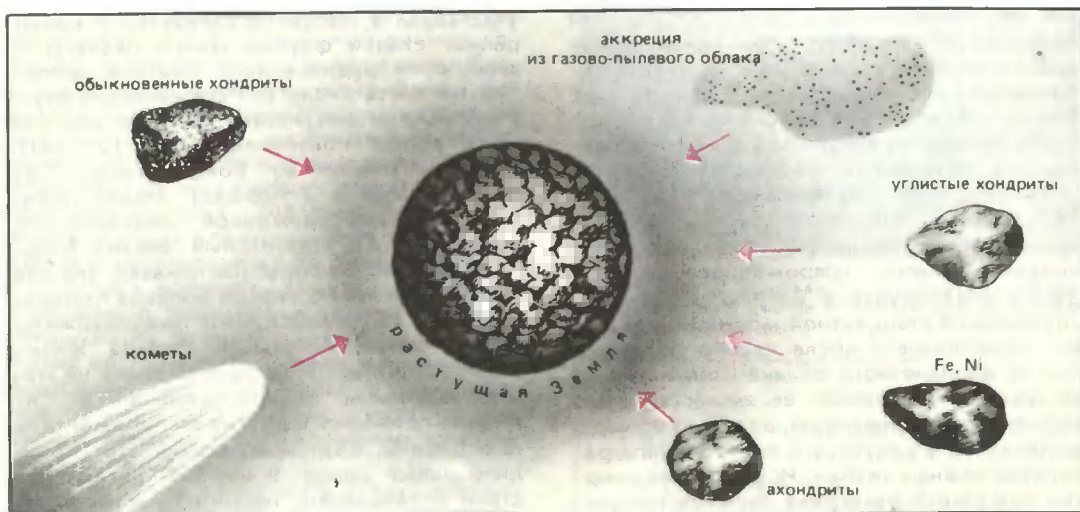
Имеющиеся модели можно условно разделить на аккреционные, кометные и дегазационные. Согласно первым, Земля при своем формировании успела захватить часть газов из допланетного газово-пылевого облака, и именно из этих реликтовых газов возникла начальная атмосфера, которую принято называть первичной.

Вторая модель связана с присутствием в Солнечной системе комет. Если предположить, что на начальных этапах

развития Земли происходили многочисленные столкновения нашей планеты с кометами, то летучие соединения, составляющие их ядра, испарившись, могли образовать ранние атмосферу и океаны. Идея кометного происхождения атмосферы и океанов впервые была высказана О. Ю. Шмидтом.

По третьим, дегазационным, моделям, источник, поставляющий газы и воду в атмосферу и гидросферу, обеспечивается тем запасом летучих компонентов в твердом веществе Земли, который был

адсорбироваться на их поверхности, раствориться в кристаллической матрице, а также имплантироваться солнечным ветром. Поэтому планетезимали, образовавшиеся из пылевой компоненты допланетного облака, также могли содержать заметные количества летучих соединений (имеются в виду соединения, способные накапливаться в атмосфере). Например, в углистых хондритах — типе метеоритов, рассматриваемом многими исследователями в качестве главного источника летучих компонентов, — содержание воды достигает нескольких про-



Формирование Земли. Вклад в ее массу могли давать кометы, газы и пыль из протопланетного облака, а также планетезимали, вещество которых подобно метеоритам различных классов (обыкновенным и углистым хондритам, ахондритам, железным метеоритам).

принесен туда планетезималиями — первичными твердыми телами, возникшими в допланетном облаке, аккумуляция которых, согласно представлениям современной планетной космогонии, привела к образованию планет. Известно, что метеориты, по составу близкие тому веществу, из которого сформировались планеты, содержат разнообразные летучие соединения. При нагреве до плавления происходит настолько бурное выделение газов из метеоритного вещества, что расплав как бы вскипает. Присутствие летучих компонентов в твердом веществе метеоритов связано с взаимодействием газовой составляющей прототуманности с пылевыми частицами. Например, газы могли вступить в химическое взаимодействие с этими частицами,

не меньше в них и органических соединений; поэтому при нагреве они выделяют широкий спектр газов. (В других типах метеоритов содержание летучих соединений составляет проценты и доли процентов по весу.) Поэтому планетезимали, образовав твердую планету и высвобождая запасенные легколетучие соединения, также могли быть источником атмосферных газов. Атмосфера, образующаяся из газов, которые выделялись из твердого вещества планеты (процесс дегазации), получила название вторичной.

Упомянутые три типа источников атмосферных газов независимы; поэтому было бы справедливо предположить, что в истории планеты вклад в атмосферу давали все три механизма. Тем не менее накопленный банк геохимических данных вступает в серьезное противоречие с различными аккреционными моделями и свидетельствует в пользу того, что современная атмосфера Земли преимущественно вторичного происхождения. Что касается кометных моделей, то столкновение Земли

с кометами носит вероятностный характер, и даже ярые сторонники этой модели вынуждены признать, «что множество допущений, принимаемых в подобных расчетах, затрудняют точную оценку количества кометного вещества, претерпевшего аккрецию на Землю»<sup>1</sup>. Но признав дегазационную модель определяющей, еще не значит ответить на вопрос: когда и как образовались атмосфера и гидросфера Земли.

### НЕПРЕРЫВНАЯ ИЛИ КАТАСТРОФИЧЕСКАЯ?

Займствуя терминологию специалистов по космологии, можно сказать, что большинство геологов и геохимиков пользуются сегодня стандартной моделью непрерывной дегазации Земли. В чем ее суть? Вот как объясняет ее американский геолог С. Расул: «Когда студенты спрашивают меня, как произошли океаны, я отвечаю: "Сколько воды выбрасывают вулканы?  $10^{14}$  г в год. Умножьте эту величину на время жизни Земли ( $4,5 \cdot 10^9$  лет) и вы получите массу современного океана. Затем апеллируйте к Богу"». В этом все содержание стандартной модели. Согласно ей, наша планета после своего образования из допланетного облака изначально не обладала атмосферой, ее вещество было недифференцированным, а газы из ее недр выделялись в результате постепенного разогрева земных глубин. Источниками энергии для такого разогрева служили процессы гравитационной дифференциации твердого вещества пород и их радиоактивный распад. Считается, что при некотором уровне разогрева недр планеты заработали вулканы, началось постепенное (непрерывное) выделение и накопление газов в атмосфере, стали появляться океаны<sup>2</sup>.

Подобный подход вызывает ощущение некоторой неудовлетворенности (разумеется, ощущения не являются критерием в науке), так как выбор таких начальных условий для молодой Земли как бы отрывает ее развитие от процессов, имевших место на стадии формирования планеты из допланетного облака. Более логич-

но предположить, что большинство геологических процессов подчиняется некоторому принципу непрерывности и должны рассматриваться с учетом всех предыдущих стадий развития Земли. Однако внешняя простота и наглядность модели непрерывной дегазации уже долгое время обеспечивает ей достаточно прочные позиции.

Первые тревожные сигналы прозвучали, когда было определено отношение изотопов аргона в океанических базальтах: это отношение оказалось очень высоким. Нерадиогенный изотоп аргона  $^{36}\text{Ar}$ , принесенный на Землю планетезиомалями, участвовал в процессе дегазации с самых ранних стадий формирования планеты, а выделение радиогенного изотопа аргона  $^{40}\text{Ar}$  началось после его образования внутри Земли в результате распада изотопа  $^{40}\text{K}$  (период полураспада  $1,3 \cdot 10^9$  лет). Поэтому изменение концентрации  $^{40}\text{Ar}$  в атмосфере и в породах Земли определяется иной временной зависимостью, чем для  $^{36}\text{Ar}$ . Тщательный анализ большого количества образцов показал, что для объяснения наблюдаемых высоких отношений  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  необходимо предположить, что в самый начальный период жизни планеты произошло высвобождение не менее половины общего количества  $^{36}\text{Ar}$ . Вскоре появились и другие экспериментальные работы, подтверждающие этот принципиальный вывод. В научной литературе стали использовать термин катастрофическая дегазация.

Однако до последнего времени не было достаточно полного теоретического и экспериментального обоснования реальных природных процессов, которые могли бы обеспечить быструю (катастрофическую) дегазацию значительных количеств летучих соединений, содержащихся в теле планеты. Ситуация тем более удивительная, что следы этих процессов (и в прямом, и в переносном смысле слова) лежат на поверхности — это ударные кратеры, покрывающие значительную часть планет и спутников (кроме планет, имеющих плотную атмосферу). Тот факт, что формирование планет земной группы сопровождалось интенсивной бомбардировкой планетезиомалями, заставляет всерьез заняться изучением роли ударных процессов в ранней геологической истории Земли. Следует отметить, что о необходимости учета ударных процессов в формировании Земли впервые говорилось в работах К. П. Флоренского<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Ласкано-Араухо А., Оро Дж. Кометное вещество и происхождение жизни на Земле // Кометы и происхождение жизни / Под ред. С. Поннамперумы. М., 1984. С. 186.

<sup>2</sup> Атмосфера получила название первичной или вторичной как раз благодаря модели непрерывной дегазации. Считалось, что вначале существовала аккрецированная атмосфера, которая затем была утеряна, а на смену ей появилась атмосфера за счет дегазации.

<sup>3</sup> Флоренский К. П. // Геохимия. 1965. № 8. С. 909—917.

## УДАРНАЯ ДЕГАЗАЦИЯ

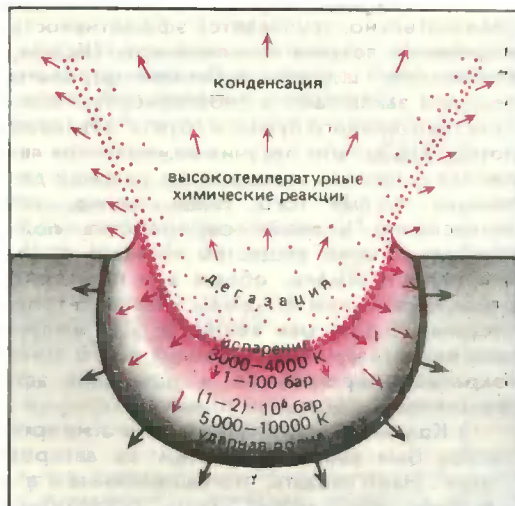
Земля не сохранила на своей поверхности ударных кратеров, относящихся к периоду ее аккумуляции,— их стерли эрозионные процессы. Возраст ударных кратеров, еще поддающихся прямому изучению, не превосходит полутора миллиардов лет. Тем не менее можно предположить, что в период аккумуляции поверхность Земли сильно напоминала сегодняшний лунный или меркурианский ландшафт.

Согласно современным представлениям, Земля формировалась из достаточно крупных тел, максимальный размер которых достигал сотен километров. Бесспорно, вклад в общую массу Земли давали и тела существенно меньших размеров, в том числе межпланетная пыль, но основу составили крупные тела. О том, что в период аккумуляции основная масса допланетного роя тел была сосредоточена в крупных планетезималях, свидетельствует и распределение по размерам древних лунных кратеров. Заметим, что представление о формировании Земли путем аккумуляции крупных планетезималей, которые не тормозились даже в плотной атмосфере (если такая была),— единственное условие для модели катастрофической дегазации, к рассмотрению которой мы и переходим.

Не будем затрагивать дискуссионный вопрос о начальных стадиях образования зародыша планеты, когда силы гравитационного удерживания слабы. Для нас наиболее интересна стадия роста планеты, когда ее масса уже сравнима с массой современного Марса (т. е. составляет примерно 10 % от массы современной Земли). Нетрудно показать, что скорость столкновения произвольного тела допланетного роя с поверхностью растущего зародыша Земли примерно равна параболической<sup>1</sup> (в данном случае 5 км/с). Столкновение тел со скоростями 5—6 км/с приводит к плавлению силикатов. Когда же растущая Земля накопила половину своей современной массы, скорости падения планетезималей достигли 8—9 км/с. В этом



Участок лунной поверхности, насыщенный ударными кратерами. В центре находится кратер Гагарин поперечником 260 км.



Физико-химические процессы, происходившие при падении на Землю планетезималей. Цветные стрелки — направление движения вещества.

<sup>1</sup> Параболическая скорость, или скорость убегания, равна  $\sqrt{2GM/R}$ , где  $G$  — гравитационная постоянная,  $M$  и  $R$  — масса и радиус планеты. Условие примерного равенства скоростей падения параболической скорости выполняется не для всех тел. Например, Луна, имеющая малую массу и скорость убегания около 1,7 км/с, была подвергнута бомбардировке планетезималями со скоростью 6—8 км/с благодаря возмущающему действию Земли.

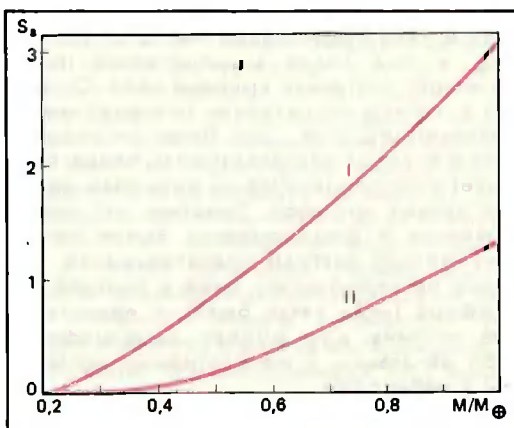
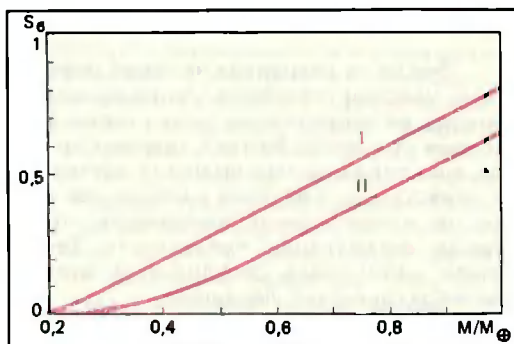
случае начинается частичное испарение вещества в системе снаряд—мишень. На заключительном этапе аккумуляции Земли, когда скорости падения планетезималей были около 12 км/с, испарялось до 20 % массы вещества в центральной зоне удара. Именно рассмотрение процессов высоко-



температурного разогрева сталкивающихся тел, приводящего к их дегазации, и лежит в основе предлагаемой модели.

Степень разогрева вещества полностью определяется интенсивностью прошедшей через него ударной волны. Что при этом происходит с веществом? Во время ударного сжатия во фронте ударной волны вещество переходит в сильно сжатое и разогретое состояние<sup>5</sup>. После этого начинается его адиабатическая разгрузка, в процессе которой давление вещества падает до давления окружающей среды, а температура уменьшается до некоторого остаточного значения, определяемого повышением энтропии вещества при сжатии. При ударах в рассматриваемом диапазоне скоростей этого остаточного разогрева хватает для плавления и частичного испарения силикатного вещества. По мере падения давления расплав вскипает и разрывается как силикатным паром, так и растущими газовыми пузырьками, образованными летучими компонентами, которые выделяются из расплава. Согласно оценкам, расплав разрывается, образуя субмиллиметровые капельки. Возникает большая свободная поверхность расплава, и, следовательно, усиливается эффективность выделения летучих компонентов. (Кстати, стеклянные шарики субмиллиметрового размера заключают в себе основную массу остеклованного лунного грунта<sup>6</sup>.) Именно потери веществом летучих компонентов являются основным механизмом ударной дегазации. Кроме того, очень важно, что интенсивной ударной переработке подвергается также вещество в месте падения планетезимали; объем его примерно равен нескольким объемам упавшего тела. Вторичный разогрев вещества уже выпавших планетезималей приводит к его многократной переработке и повышает эффективность дегазации планеты.

Количественный анализ всех этих процессов был выполнен одним из авторов статьи<sup>7</sup>. Надо сказать, что выделенные в атмосферу газы могут опять поглотиться твердым веществом планеты в результате различных физико-химических процессов. Поэтому поглощенные газы могут повторно выделяться в атмосферу при последующей бомбардировке поверхности планеты пла-



Количество химически инертных (благородных) газов  $S_g$ , выделившееся в атмосферу при ударной дегазации, в зависимости от накопленной относительной массы Земли [ $M$  — масса растущей планеты,  $M_{\oplus}$  — масса современной Земли].  $S_g$  равна отношению массы выделенных газов к их общему количеству, принесенному планетезималами за весь период аккумуляции; I — максимальная оценка эффекта дегазации, II — минимальная (вверху).

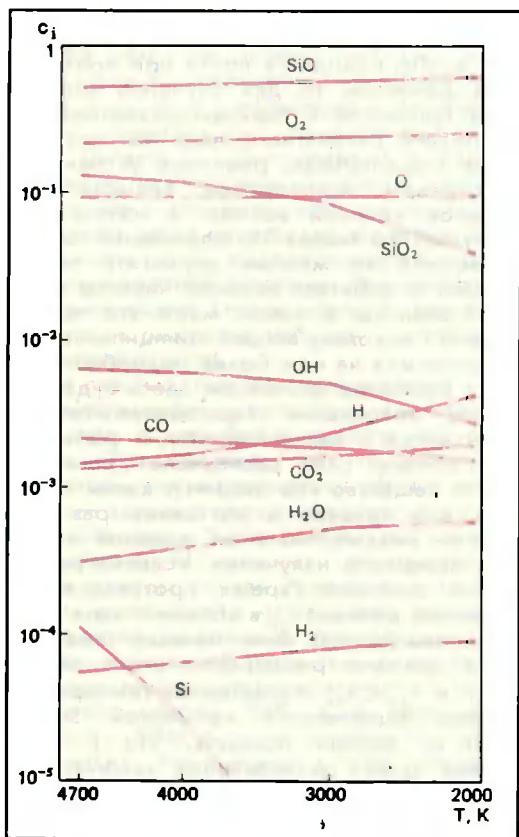
Количество химически активных компонентов, выделившихся в атмосферу при аккумуляции [ $S_a$ ], в зависимости от накопленной относительной массы Земли [ $M/M_{\oplus}$ ].  $S_a$  равна отношению массы выделенных газов к их общему количеству, принесенному планетезималами за весь период аккумуляции; кривая I соответствует максимальной оценке эффекта дегазации, II — минимальной. Учитывалось поглощение породами и повторное выделение газовых компонентов (внизу).

нетезималами, увеличивая общий объем газов, выделенных в атмосферу при ударной дегазации. Поскольку в реальной ситуации различные газы по-разному поглощаются породами, рассматривались два предельных случая: отсутствие обратного поглощения выделенных при ударной дегазации газов и их полное обратное поглощение породами.

<sup>5</sup> Например, при соударении со скоростью около 10 км/с на фронте ударной волны давление достигает примерно 2 Мбар, а температура поднимается до 10 тыс. К.

<sup>6</sup> Cloud P. // Science. 1970. Vol. 167. P. 776—778.

<sup>7</sup> Герасимов М. В. // Письма в АЖ. 1979. Т. 5. № 5. С. 251—256.



Относительные объемные концентрации ( $c_i$ ) компонентов газовой фазы системы  $\text{SiO}_2 - \text{C}$  (0.1 вес. %) —  $\text{H}_2\text{O}$  (0.2 вес. %), находящиеся в термодинамическом равновесии с конденсированной фазой  $\text{SiO}_2$ . При изменении температуры от 4700 до 2000 К концентрации компонентов меняется слабо.

Первая ситуация в какой-то мере соответствует поведению химически инертных, например благородных, газов или молекулярного азота. Вторая ситуация отражает поведение химически активных газов, таких как углекислый газ, кислород, соединения серы и др. Естественно, в известной мере обе ситуации схематичны, поскольку благородные газы могут и сорбироваться, и растворяться, а химически активные могут частично оставаться в атмосфере. Тем не менее подобное решение дает наглядное представление о мощности источника ударной дегазации. Так, согласно нашей оценке, по крайней мере 65—80 % общего количества летучих компонентов Земли было выделено в атмосферу при аккумуляции. Что касается химически активных газов, их полное коли-

чество, прошедшее через атмосферу за счет циклических процессов, в полтора—три раза превышало их общий запас на нашей планете. Много это или мало?

Относительные массовые концентрации ( $c$ ) летучих компонентов в обычных хондритах в среднем составляют:  $c_{\text{H}_2\text{O}} \sim 10^{-2}$ ,  $c_{\text{C}} \sim 10^{-3}$ ,  $c_{\text{S}} \sim 2 \cdot 10^{-2}$ . Эти величины близки к среднему содержанию воды, углерода и серы на Земле. В углеродистых хондритах концентрация воды и углерода может быть в 10 раз выше. Сравнивая мощность источника ударной дегазации с другими источниками газов (см. табл.), нетрудно видеть, что она на несколько порядков превосходит все остальные. Следует заметить также, что масса современного океана составляет лишь процент от массы воды, выделенной при ударной дегазации.

Высокая мощность этого процесса неудивительна. Ведь при ударах выделяется огромное количество энергии ( $\sim 10^{39}$  эрг); ее вполне хватило бы, чтобы нагреть твердую Землю до температуры 30 000 К. Причем эта энергия выделялась за время, меньшее, чем время аккумуля-

Мощность различных источников атмосферных газов [суммарное количество газов, которое может быть выделено источником]

Источник	Мощность источника, г	
Ударная дегазация (данные М. В. Герасимова, Л. М. Мухина)	$\text{H}_2\text{O}$	$2 \cdot 10^{26}$
	$\text{CO}_2$	$2 \cdot 10^{25}$
	$\text{SO}_2$	$8 \cdot 10^{26}$
	$\text{N}_2$	$5 \cdot 10^{22}$
Непрерывная дегазация (данные У. Руби*)	$\text{H}_2\text{O}$	$1,7 \cdot 10^{24}$
	$\text{CO}_2$	$9 \cdot 10^{22}$
	$\text{N}_2$	$4 \cdot 10^{21}$
Аккреция газа из протопланетного облака**	$\text{CO}_2$	$3 \cdot 10^{20}$
	$\text{SO}_2$	$6 \cdot 10^{18}$
	$\text{N}_2$	$2 \cdot 10^{19}$
Столкновение с кометами	мощность источника сравнима с источником газов при ударной дегазации, если суммарная масса комет составляет около 1 % массы Земли	

\* Rubey W. // Bull. Geol. Soc. Am. 1951. P. 1111—1142.

\*\* Максимальная оценка мощности аккреционного источника сделана в предположении, что весь земной нерадиоγενный аргон  $^{36}\text{Ar}$  был приобретен благодаря аккреции из облака солнечного состава.



ляции ( $10^8$  лет). Энергетическая мощность последующих геологических процессов существенно меньше.

Построение количественной модели ударной дегазации позволяет по-новому взглянуть на проблему происхождения атмосферы и океанов. Дегазационный процесс является определяющим, но начинается он не как следствие радиоактивного разогрева недр после образования планеты, а идет одновременно с ее ростом и зависит главным образом от накопленной массы<sup>6</sup>. Большая мощность дегазационного ударного источника заставляет рассматривать образование атмосферы и океанов не как их простое накопление, а как результат конкуренции процессов выделения и поглощения летучих компонентов поверхностным слоем Земли. В этом смысле очень важен вопрос о химическом составе газов, выделявшихся при ударной дегазации.

#### КАК ИЗУЧАТЬ ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ УДАРЕ

Выделившиеся газы, находясь в расширяющемся горячем облаке, содержащем и капельки расплава, и частички вновь образующегося конденсата, неизбежно будут вступать в разнообразие химические взаимодействия, поэтому любые теоретические оценки для столь сложной системы наверняка будут нести печать произвола. В связи с этим более оправданным нам представляется экспериментальный подход.

Бесспорно, очень привлекательно изучить ударные процессы *in situ*. Однако воспроизведение крупного ударного события — задача технически неосуществимая, единственный путь — лабораторное моделирование.

Прежде всего нас интересуют химические процессы, формирующие состав выделяющихся при ударе газов. Поскольку дегазация происходит в той фазе удар-

ного процесса, когда вещество, пройдя этап сжатия и разогрева в мощной ударной волне, находится почти при нормальном давлении, то для изучения химических процессов в горячем разлетающемся облаке силикатного пара мы предложили моделировать реальные условия — разогревать исследуемое вещество не мощной ударной волной, а излучением импульсного лазера. Использование лазера позволило во многом упростить эксперимент и добиться высокой чистоты газового анализа. В какой мере это правомочно? Поскольку вопрос принципиальный, остановимся на нем более подробно.

Наиболее критичным здесь будет условие достижения термодинамического равновесия в начальной стадии расширения облака. Если равновесие достигается, то вещество «не помнит», каким образом его привели в состояние равновесия — воздействием ли ударной волны или лазерного излучения. Условие равновесия очевидно: время протекания химических реакций  $\tau_{\text{р}}$  в облаке испаренного вещества должно быть меньше характерного времени расширения этого облака  $\tau_{\text{р}}$  (т. е.  $\tau_{\text{р}} < \tau_{\text{р}}$ ). Характерная температура облака оценивается величиной 3000—4000 К. Можно показать, что в этом случае время установления химического равновесия примерно равно  $10^{-5}$ — $10^{-3}$  с. С другой стороны, время расширения горячего облака в первом приближении сравнимо с длительностью процесса испарения. Поэтому в реальном ударном событии, где эта длительность исчисляется секундами, условие достижения химического равновесия в газовой фазе заведомо выполняется. Еще одно условие моделирования: облако испаренного вещества должно расширяться адиабатически, т. е. пары не должны поглощать излучение. Несложный анализ показывает, что необходимые условия для моделирования ударного испарения лазерным излучением достигаются при использовании плотности потока энергии излучения  $10^6$ — $10^8$  Вт/см<sup>2</sup> и длительности импульса, превышающей  $10^{-5}$  с.

Для процессов столь различного масштаба — удар тела километрового размера и испарение нескольких миллиграммов вещества лазерным излучением — необходимо знать степень соответствия образующихся в том и в другом случае

<sup>6</sup> В описанной модели ударной дегазации эффективная дегазация происходит после накопления примерно 20 % массы Земли, когда при ударах планетезималей начинается плавление и частичное испарение силикатного вещества. Но это не точная граница для начала ударной дегазации. Так, в экспериментах американской группы, возглавляемой Т. Аренсом, было показано, что в некоторых специальных случаях, когда летучие составляют заметную долю минеральной фазы (карбонаты и серпентины), эффективная дегазация происходит уже при прохождении относительно слабых ударных волн, соответствующих ударам со скоростями около 1—2 км/с.

<sup>9</sup> Давление, при котором происходит вскипание расплава, зависит от ряда параметров, таких как энтропия вещества, концентрация летучих, их химический состав, и в нашем случае составляет величину около 1—100 бар.

химических продуктов. Существенно, что в горячем расширяющемся облаке любого размера рано или поздно наступает момент, когда  $\tau_{xp}$  сравняется по своей величине с  $\tau_p$ , а при дальнейшем расширении и уменьшении температуры  $\tau_{xp}$  станет больше  $\tau_p$ . Этот момент и будет определять химическую «закалку»: состав газов с этого момента почти не меняется. Именно тогда он и будет характеризовать газовую смесь, выделяющуюся в атмосферу при ударной дегазации. Что же отличает химический состав газов в момент «закалки» в реальном событии и в лазерном эксперименте?

К счастью, при рассматриваемой интенсивности ударных процессов мы имеем дело лишь с частичным испарением вещества. Это означает, что температура и плотность расширяющегося облака подчиняются закону поведения насыщенного силикатного пара. Экспоненциальный характер зависимости плотности от температуры в данном случае приводит к тому, что для реального и модельного процессов, характерные времена протекания которых различаются на шесть порядков, температуры «закалки» отличаются лишь в полтора раза (около 2000 К в реальном событии и 3000 К — в модельном эксперименте). Химический состав газовых продуктов в облаке формируется в диссоциативно-рекомбинационных реакциях. И, как показывает анализ, рекомбинационные процессы, связанные с падением температуры при расширении облака пара, для многих газовых молекул хорошо компенсируются процессами диссоциации из-за уменьшения плотности облака. Поэтому качественная картина его химического состава остается почти неизменной в широком диапазоне изменения температуры. Этот вывод был подтвержден также термодинамическими расчетами, выполненными И. Л. Ходаковским и В. А. Дорофеевой (ГЕОХИ АН СССР).

Основываясь на этих данных, мы пришли к выводу о правомочности использования импульсного лазерного излучения для изучения химических процессов, протекающих в образующемся при ударе высокотемпературном газовом облаке. Вывод основывался на теоретических оценках. Необходим был эксперимент. Такой эксперимент проведен.

#### КИСЛОРОД В ПРОТОАТМОСФЕРЕ

Воздействуя на образец мощным лазерным импульсом, можно испарять около 10 мг вещества, из которых на «атмо-

сферную» газовую компоненту приходится лишь от долей до нескольких процентов (остальное вещество вновь конденсируется или разбрызгивается в виде мелких капелек). Необходим очень тонкий анализ этой компоненты. Образец размещался в герметичной кювете, после «выстрела» (действие лазерного импульса наминало стрельбу) кювета продувалась гелием, и газы конденсировались в холодной ловушке, а затем анализировались хромато-масс-спектрометрическим методом. Исследованию были подвергнуты самые разнообразные природные образцы: «земные» — кварц, базальт, пироксен, перидотит, пикритовый габбро-долерит с содержанием сульфидной серы (3%); метеоритные — углистый и обыкновенный хондриты, железный метеорит.

Первые же эксперименты при «выстрелах» по базальту и кварцу принесли совершенно неожиданный результат — газовая смесь содержала заметное количество молекулярного кислорода! Действительно, несмотря на то что образцы более чем наполовину состоят из кислорода, трудно было ожидать появления заметных количеств этого чрезвычайно реакционноспособного элемента в несвязанной форме.

Попадание атмосферного воздуха в кювету исключалось. Что же могло быть источником кислорода — сама силикатная матрица или кислородсодержащие газы, присутствующие в микровключениях образца (например,  $CO_2$ ,  $H_2O$ )? Чтобы проверить, может ли кислород выделяться непосредственно из силикатной матрицы, были проведены «выстрелы» по образцу кварца, не содержащему газов. Кислород продолжал выделяться. Более того, мы убедились, что именно кислород, образующийся при терморазложении силикатной матрицы, играет центральную роль в формировании химического состава газовой смеси. Например, даже при «выстрелах» по метеоритам, содержащим серу и углерод в восстановленной форме, выделение серы и углеродсодержащих газов происходило всегда главным образом в виде окислов. Образование молекулярного кислорода в расширяющемся горячем облаке за счет кислорода силикатной матрицы было также подтверждено термодинамическими расчетами. Тот факт, что ударные процессы поставляют молекулярный кислород в протоматмосферу, принципиально важен, так как заставляет совершенно по-новому взглянуть на многие геохимические процессы ранней Земли. Ведь выделение

значительных количеств молекулярного кислорода в протоатмосферу могло приводить к разнообразным окислительным реакциям как в атмосфере, так и в породах планеты.

Не менее важно и то обстоятельство, что газовые смеси, образующиеся при высокотемпературном равновесии, во всех случаях были химически неравновесными для нормальных атмосферных условий<sup>10</sup>. В них входили основные компоненты —  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$  — и микрокомпоненты — углеводороды,

к преимущественному образованию окислов. Количественные отличия были связаны только с отличиями в концентрациях элементов  $C$ ,  $H$ ,  $S$ ,  $N$  в образцах. Следовательно, основываясь на такой качественной универсальности химического состава выделяющихся газов, можно утверждать, что газы подобного химического состава могли образоваться при ударе планетезималей, соответствующих различным типам метеоритов. Существенно, что в числе обнаруженных компонентов много химически активных соединений.

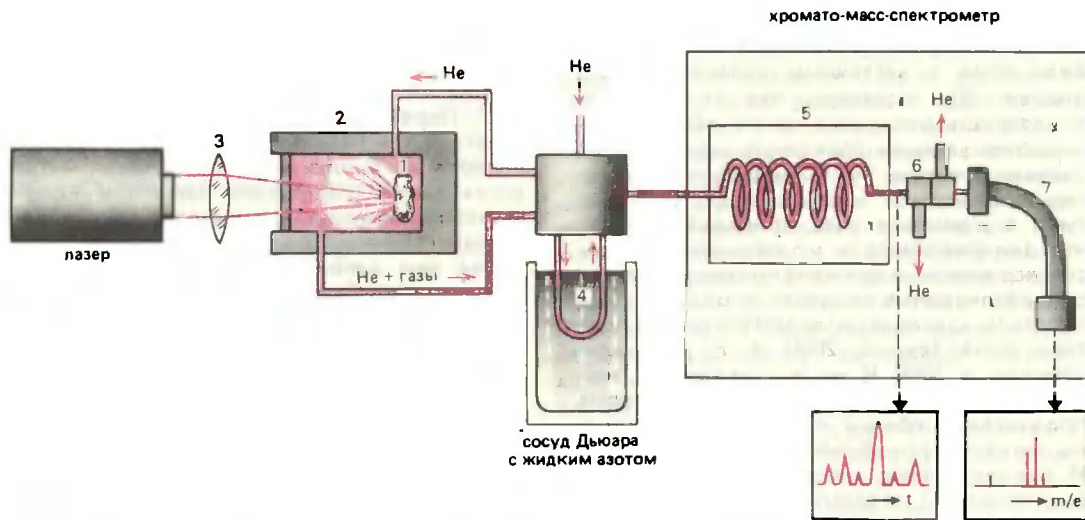


Схема эксперимента, моделирующего процесс ударной дегазации с помощью лазера. Образец 4 помещался в герметичную кювету 2, заполненную гелием, и на него через линзу 3 фокусировалось излучение импульсного лазера на неодимовом стекле ( $\lambda=1,06$  мкм). После «выстрела» кювета продувалась гелием и газы конденсировались в холодной ловушке 4. После продувки кювета ловушка размораживалась и газовая смесь поступала в хроматограф, в котором она разделялась на компоненты в хроматографической колонке 5. В сепараторе 6 отделялся газ-носитель (гелий), и компоненты газовой смеси анализировались на масс-спектрометре 7, который позволял точно идентифицировать каждый из них.

$H_2S$ ,  $CO$ ,  $CS_2$ ,  $HCN$ ,  $N_2$ ,  $CH_3CN$ ,  $C_2H_4O$ . Следует отметить, что химический состав газовых смесей качественно мало отличался в экспериментах со всеми образцами, так как их формирование происходило всегда при значительном парциальном давлении свободного кислорода и приводило

Проведя модельный эксперимент, нам, естественно, захотелось найти какое-нибудь подтверждение полученным результатам. И оно было найдено... на Луне. Дело в том, что на Луне достаточно плотная «атмосфера» существует только в месте и в момент ударного процесса. Куски породы, разлетающиеся от центра удара вместе с облаком, успевают прочно захватить (хемосорбировать) на свою поверхность некоторые газы. Эти газы были изучены<sup>11</sup>, и ими оказались:  $H_2O$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ , углеводороды (в том же соотношении, что и в нашем эксперименте). Таким образом, можно считать, что полученные нами данные достаточно надежно отражают химический состав газов, выделявшихся при ударной дегазации. Еще раз подчеркнем, что выделение в протоатмосферу большого количества газов со столь экзотическим химическим

<sup>10</sup> Gerasimov M. V., Mukhin L. M. // Lunar and Planetary Sci. 15. Lunar and Planetary Inst. Houston, 1984. P. 289—299.

<sup>11</sup> Wszolek P. C. et al. // Proc. 4-th Lunar Sci. Conf. Houston, 1973. P. 1693—1706.

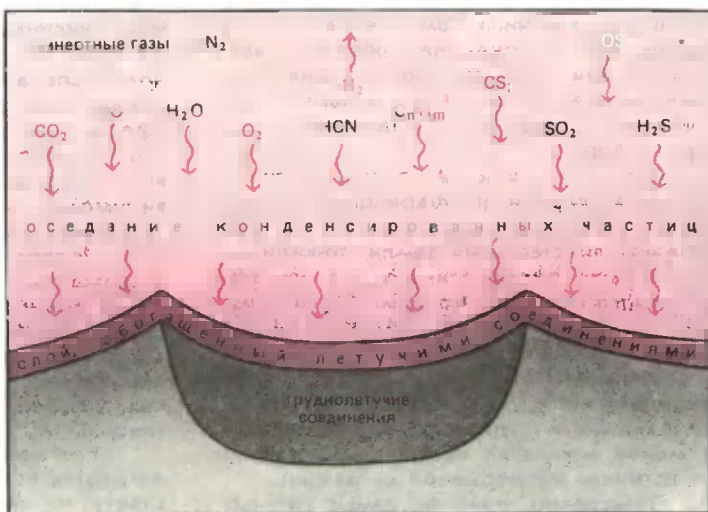
составом не могло не оказать радикального воздействия на геохимическую историю ранней Земли.

### ОБРАЗОВАНИЕ ПРОТОГЕОСФЕР

Действительно, описанный выше процесс ударной дегазации показывает, что Земля во время своей аккумуляции должна была пережить очень бурный период. Выделявшиеся при ударах химически инертные газы в основном должны были оставаться в атмосфере и накапливаться в

ся на поверхности, и присутствие в период аккумуляции Венеры большого количества водяных паров в ее атмосфере усилило парниковый эффект, который в конечном счете стал необратимым. Впоследствии, возможно за счет фотолиза, вода была утеряна из венерианской атмосферы. На Земле выделение газов было менее интенсивным, их сток из атмосферы был обеспечен (вероятно, благодаря быстрому растворению в протоокеане), и парниковый эффект в земной протоатмосфере не смог развиваться в необратимый. Ясно, что без рассмотрения

**Ударная дифференциация вещества.** После удара планетезималей конденсированные частицы, обогащенные летучими элементами, оседают на поверхности планеты. Химически активные газы, выделенные в атмосферу при ударе, поглощаются породами также преимущественно на поверхности. В результате удара, таким образом, происходит вынос летучих компонентов к поверхности планеты.



ней. Поступавшие в большом количестве в атмосферу химически активные газы разными путями опять поглощались породами (за исключением водорода, который преимущественно уходил в космическое пространство). Поэтому концентрация различных газов в протоатмосфере определялась интенсивностью их выделения при ударах, а также скоростью их обратного поглощения породами, либо потерей из атмосферы в космическое пространство, либо химическими превращениями в газовой фазе.

В рамках модели ударной дегазации можно следующим образом объяснить отличие в атмосферах Земли и Венеры. Возможно, из-за более быстрого образования (аккумуляции) Венеры и, следовательно, более интенсивного выделения газов ее протоатмосфера была более плотной, чем земная. Температура поверхности ПротоВенеры за счет сильного парникового эффекта уже на ранней стадии аккумуляции могла подняться выше точки кипения воды. Вода не смогла конденсировать-

всего комплекса физико-химических процессов на ранней Земле вряд ли можно дать корректный ответ на вопрос о событиях, происходивших в то время.

Нельзя не отметить одно очень важное следствие ударных процессов — перераспределение (дифференциацию) компонентов разной степени летучести по радиусу планеты. Механизм его достаточно прост. Во время ударного процесса происходит выделение летучих компонентов из некоторого объема вещества планеты, линейные размеры которого порядка нескольких радиусов упавшей планетезимали. Но поглощаются химически активные компоненты породами, находящимися в самых верхних слоях. С другой стороны, часть ударного расплава, обедненного летучими компонентами (т. е. обогащенного труднолетучими), погребена внутри ударного кратера. Следовательно, каждый удар приводит как бы к некоторому расслоению компонентов в зависимости от степени их летучести. Расслоение становится более полным при многократной переработке ве-

щества поверхности планеты ударами планетезималей. Естественно, перерабатываемый ударами верхний слой планеты состоял из смеси минеральных фаз, как обогащенных летучими компонентами, поглощенными из атмосферы, так и обедненных ими при ударе. Но по мере роста радиуса планеты часть расплава, бедного летучими и погребенного в кратере, с большей вероятностью оказывалась внутри планеты, чем обогащенные летучими породы поверхности. Поэтому в среднем летучими компонентами обогащался верхний слой планеты. В результате, к концу аккумуляции верхний слой Земли обогащался летучими компонентами, а глубинные слои — труднолетучими. Это вело к уменьшению скорости поглощения породами активных газов из атмосферы и увеличению их парциального давления в протоматмосфере.

В этом и заключается очень важное следствие ударной дифференциации летучих компонентов. Действительно, за всю историю существования Земли, по-видимому, не было более раннего и столь эффективного процесса, который бы мог создать предпосылки для существования атмосферы и океанов. Уменьшение скоростей поглощения летучих компонентов могло предопределить дальнейшее существование атмосферы и гидросферы при питании их менее мощными источниками, такими как источник непрерывной дегазации.

Безусловно, одно из самых главных возможных следствий ударной дифференциации — обогащение верхних слоев Земли кислородом и образование протокоры. Ведь если бы дифференциация отсутствовала, породы поверхности планеты в среднем не должны были отличаться от вещества планетезималей. Метеориты, по которым можно судить о составе планетезималей, содержат заметное количество восстановленных форм элементов (металлическое железо, сульфидную и элементную серу, аморфный углерод и др.). Современная кора также недоокислена. Например, в ней двухвалентные формы железа преобладают над трехвалентными, присутствуют сульфиды, углеводороды и т. д. На окисление коры расходуется кислород атмосферы, образующийся в результате жизнедеятельности растений и фотоллиза паров воды в верхней атмосфере. Среднее содержание кислорода в породах коры составляет около 46 вес. %<sup>12</sup>, а в метеоритах эта величина меняется в преде-

лах 33—41 вес. %. Не принимая во внимание степень обогащения кислородом верхней мантии, только для обогащения коры, имеющей массу около  $2,4 \cdot 10^{25}$  г, требуется  $(1-3) \cdot 10^{24}$  г кислорода. Такое количество никак не может быть обеспечено за счет высокой скорости его производства в процессах фотосинтеза  $(3,4 \times 10^{13}$  г/год)<sup>13</sup>.

Но при ударной дегазации кислорода выделяется значительно больше. В начале периода интенсивного выделения молекулярного кислорода при ударах планетезималей протоматмосфера вряд ли имела заметное его количество из-за эффективных окислительных процессов в породах планеты. Но, возможно, на заключительном этапе аккумуляции парциальное давление молекулярного кислорода в атмосфере было уже заметным благодаря образованию протокоры. Можно также добавить, что обогащение протокоры водой, по-видимому, явилось важным условием для накопления протоматмосферы.

Подводя итог сказанному, можно утверждать, что период аккумуляции — очень важный этап в геологической эволюции Земли. Результатом ударной дегазации и дифференциации могло быть образование в процессе роста Земли ранних геосфер — атмосферы, океана, протокоры.

Рассмотрение механизмов ударной дегазации позволяет по-новому подойти к ответу на некоторые геологические вопросы, например:

Каким образом было обеспечено раннее образование атмосферы и океанов?

Какой механизм ответствен за то, что в атмосфере Земли находится практически все нерадиогенные благородные газы, примерно половина азота, а почти весь запас химически активных компонентов остался в теле планеты?

Каким был химический состав ранней атмосферы?

Как произошло обогащение верхних слоев планеты кислородом?

Кроме того, образование при ударных событиях относительно большого количества углеводородов (в эксперименте обнаружено около пятнадцати углеводородов от  $\text{CH}_4$  до  $\text{C}_6\text{H}_6$ ) и заметного количества синильной кислоты — важные условия для абиогенного синтеза сложных органических соединений, что может иметь большое значение для эволюции органического вещества на Земле и раннего происхождения жизни.

<sup>12</sup> Гаррелс Р., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. М., 1974. С. 21.

<sup>13</sup> Бютнер Э. К., Турчинович И. Е. // Геохимия. 1984. № 7. С. 949—957.

## Термодинамика в дистанционном зондировании

Б. М. Балтер, В. В. Егоров



Борис Михайлович Балтер, младший научный сотрудник Института космических исследований АН СССР. Занимается применением современных методов математической физики к сложным, в частности биологическим, системам.



Виктор Валентинович Егоров, кандидат технических наук, заведующий лабораторией методов интерпретации аэрокосмической информации о Земле того же института. Область научных интересов — дистанционное зондирование Земли.

Эта статья сродни кентавру или, если угодно, электрону. У нее тоже две ипостаси, только не конь и человек или волна и частица, а термодинамика и дистанционное зондирование Земли. Цель статьи — выявить в столь различных, на первый взгляд, областях общее и, используя эту общность, перенести на дистанционное зондирование методы термодинамики, иными словами, исследовать Землю из космоса уподобить измерению параметров термодинамических систем. Естественная форма такого подхода — как у межгосударственного договора на двух языках, где оба текста имеют одинаковую силу. Но из-за ограниченности объема статьи нам пришлось сократить по половине каждого из них и объединить «остатки». В итоге читателю пред-

стоит кое-где потрудиться над недостающим «переводом».

Вряд ли стоит описывать природные объекты, исходя из «первых принципов», как это принято в физике. Но неужели нет у них взамен каких-либо достаточно общих свойств? Оказывается, вполне строгий физический подход применим и к этим объектам, если правильно (как в термодинамике) построить их ансамбль<sup>1</sup>. Тогда

<sup>1</sup> Балтер Б. М., Егоров В. В. Методы и возможности дистанционного зондирования. Сер. «Итоги науки и техники», вып. «Исследование космического пространства». Т. 16. М.: ВИНТИ, 1981.

Напомним, что статистическим ансамблем называют совокупность большого числа не взаимодействующих одинаковых физических



описание почти не зависит от конкретного типа объектов. Термодинамика и дистанционное зондирование предстают при таком подходе как бы двумя последовательными ступеньками: первая ведет от молекулы к макроскопическому объекту, скажем растению, а вторая — от этого объекта к сообществу из большого числа ему подобных — геосистеме<sup>2</sup>.

Методы термодинамики уже давно пытаются перенести на сложные, в частности биологические, системы. Но для этого нужны соответствующие «термометры». Что ж, дистанционное зондирование в состоянии предложить такой «термометр» для геосистемы — воспроизводимые, объективные измерения, в которых объединены параметры неразличимых из космоса отдельных ее элементов, подобных молекулам в термодинамике.

В статье почти нет новых результатов, но, как кажется авторам, из материалов, разбросанных по разным работам, как из кирпичей, собрано здание новой формы. Возможно, эта конструкция дискуссионна: во всяком случае, по ряду вопросов и сами авторы не всегда имели одинаковое мнение. Их жаркие дискуссии отчасти отражены в статье диалогами персонажей, скрытых под инициалами «Б» и «В» (которые, впрочем, не так уж сложно расшифровать, приняв во внимание роль этих букв в написании имен авторов). Изредка в них участвует и третий собеседник — «А» (для определенности, Арбитр), чтобы, глядя на проблему как бы со стороны, своими репликами направлять дискуссию. Хотелось бы надеяться, что эти беседы в какой-то мере облегчат понимание некоторых из тех вопросов, что могут возникнуть у читателя.

## НЕНАДЕЖНЫЙ ДИАГНОЗ

Цель дистанционного зондирования — изучить из космоса свойства природ-

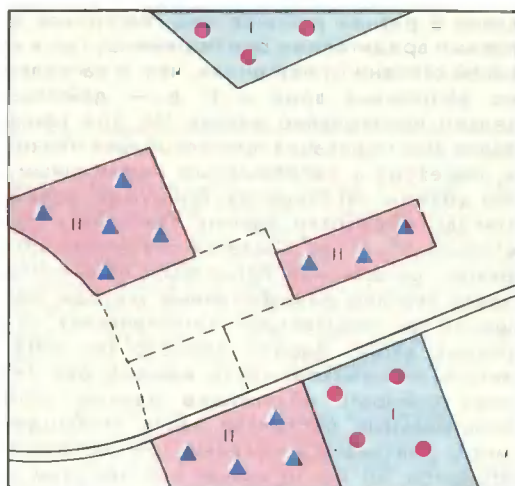
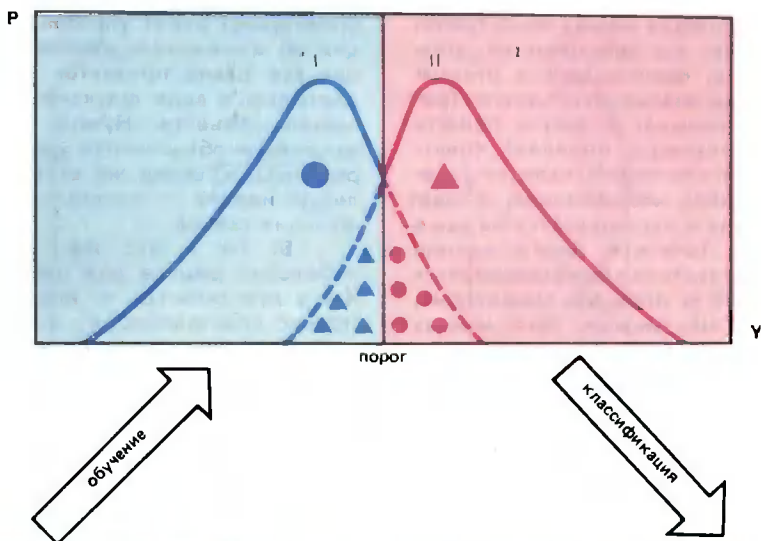
ных систем — «копий» данной. Эти системы характеризуются одинаковыми макроскопическими параметрами (находясь в одинаковых макроскопических состояниях), а их микроскопические состояния различны и принимают все допустимые значения.

<sup>2</sup> Геосистемами принято называть природные системы разных уровней, охватывающие взаимосвязанные части атмосферы, биосферы, гидросферы и литосферы, иными словами, к ним относятся не только разнообразные биогеоценозы, но и, например, поверхность океана. Глав нас в этом термине главное не «гео-», а «система», в которой за счет взаимодействия между ее составными элементами возникают новые сохраняющиеся характеристики — инварианты, отсутствующие у отдельных элементов.

ных объектов, находящихся на Земле. То, что мы хотим узнать о них, например где растут те или иные сельскохозяйственные культуры, какова их спелость, насколько загрязнены водоемы и т. п., проявляется в космосе лишь благодаря испущенному или отраженному ими излучению (в основном — рассеянному солнечному свету). Поэтому мы находимся в положении врача, который и рад бы непосредственно убедиться, есть ли в таком-то месте опухоль или нет, но не может туда добраться и вынужден довольствоваться косвенными признаками. Если для основных экологических «болезней» лечения пока нет, то диагностика их с помощью дистанционного зондирования вполне реальна.

Но зачем нам такая диагностика, ведь большая часть интересующей нас информации видна с Земли? Традиционный ответ таков: ради оперативности и глобальности обзора. Решать глобальные задачи, проводя наземные наблюдения, — то же, что определять термодинамические параметры, анализируя состояния отдельных молекул. Но если в термодинамике измерительные приборы сами «думают» за нас, объединяя, предположим, разные скорости молекул в один показатель — температуру, то в дистанционном зондировании мы пока этого не добились и вынуждены передавать огромный объем информации. Понятно, что обработать ее можно лишь с помощью ЭВМ. Какими же алгоритмами для этого пользуются, какие задачи решают и с какими результатами?

Главная задача, которой до сих пор посвящалось, пожалуй, процентов девяносто всех работ, — это автоматическая классификация объектов по заданным категориям, к примеру по типам землепользования (поле, лес, луг и т. п.), видам сельскохозяйственных культур и другим подобным дискретным классам. С помощью ЭВМ для анализируемых снимков получают тематические карты, где каждая категория окрашена в свой условный цвет. Чтобы классифицировать объекты по категориям, необходимо знать, какой спектр соответствует каждой категории — ее спектральный портрет, или образ. Если мы хотим извлечь его из самого снимка, по крайней мере для нескольких участков снимка (их называют обучающими), надо определить, какие категории им соответствуют. Поэтому нужны наземные обследования этих участков или хотя бы крупномасштабные аэрофотоснимки, на которых глазом видно, где какой объект. Причем для каждого космического снимка это предстоит проделывать заново, ведь спектральные



Классификация объектов дистанционного зондирования по двум дискретным категориям. На исходном изображении (внизу слева) выделяют эталонные участки, относящиеся к разным категориям I и II (заняты, к примеру, сельскохозяйственными культурами двух видов). На первом этапе (так называемое обучение) для этих участков (вверху) строят распределения  $P$  ( $Y$ ) вероятности яркости (цветные кривые) и проводят границу между ними (порог), разделяя перекрывающиеся спектральные «образы» этих участков (площади под кривыми, отмеченные кругом и треугольником). Области по обе стороны от границы окрашены в различные цвета и задают правила классификации других (рабочих) участков с неизвестными характеристиками. Вероятность ошибки при этом пропорциональна площади перекрытия спектральных кривых. В результате классификации составляется тематическая карта (внизу справа), где рабочие участки раскрашены в цвет той или иной категории. Ошибки классификации показаны геометрическими символами другого цвета.

портреты категорий нельзя задать раз и навсегда — они меняются вместе с состояниями объекта, атмосферы и т. д. Вместо того чтобы исследовать эти изменения, в таком подходе просто используют спектральные портреты, «размытые» ими. Заботятся при этом лишь о том, чтобы «размытие» на обучающих участках было примерно таким же, как и на остальных.

Но вот такие спектральные портреты созданы. Они имеют вид распределений вероятности в так называемом пространстве признаков, в котором по осям координат отложены регистрируемые интенсивности излучения (яркости) в том или ином спектральном интервале. Эти распределения перекрываются, так что приходится, пользуясь некоторым критерием,

«обрезать» их, проводя между ними границы, которые делят все пространство признаков на области, относящиеся к разным категориям. Затем анализируют другие (рабочие) участки снимка: в какую область пространства признаков попадает спектральный портрет отдельной «точки» (элемента разрешения) изображение, в цвет той категории она и окрашивается на тематической карте. Точность такого метода невысока — неправильно классифицируется в среднем 15—20 % площади территории, представленной на снимке. Для многих практических нужд это неприемлемо.

Однако наиболее интересные для практики задачи имеют **непрерывный** характер: это определение состояния природных объектов известного класса. В самом деле, круг задач, где нас не устраивают результаты классификации объектов на основе наземных наблюдений, крайне узок. А вот знать, какова биомасса посевов в разных районах, где, насколько и какими вредителями они поражены, где и в какой степени нужен полив, чем и насколько загрязнена вода и т. д., — действительно чрезвычайно важно. Но для таких задач классификация приспособлена плохо, и, переходя к непрерывным переменным, мы должны, по существу, придумать новые методы обработки данных. Поскольку состояние объектов меняется случайным образом, естественно попытаться применить здесь хорошо разработанные методы решения так называемых статистических обратных задач. Заодно неплохо бы избавиться от необходимости каждый раз заново собирать обучающие данные. Для спектральных портретов такая необходимость диктовалась изменениями состояния объектов, но мы-то сейчас как раз этим и интересуемся. Оказывается, если в качестве обучающих данных взять функцию связи спектральной яркости объекта с его состоянием и включить в переменные, описывающие состояние, достаточно много влияющих на спектр факторов, то эта функция будет инвариантна в широком пространственно-временном диапазоне и при разнообразных условиях съемки. Поэтому ее можно определить лишь однажды. В следующем разделе мы расскажем подробнее об оценке состояния различных объектов при дистанционном зондировании.

**Б:** Чем же все-таки плоха классификация? Разве это не наше право — выбрать дискретную модель?

**В:** Но придется заплатить за этот выбор тем, что в одну дискретную точку

(категорию) будет упрятана вся информация об изменениях состояния объекта. А они все равно проявятся в спектральных портретах в виде флуктуаций. Это плохая модель объекта. Нужна такая, где эти изменения объясняются учитываемыми переменными, вклад же остальных минимален (в идеале — полностью инвариантная функция связи).

**Б:** Ну и что же, возьмем точек побольше: разные для разных состояний. Как у пуантилистов — портреты из точек (только спектральные).

**В:** И так же нежизненно. К тому же каждая точка — это не прикосновение кисти, как в живописи, а часы и даже дни сбора данных.

**А:** А разве проще иметь дело с «линиями» — законами изменения состояния?

**Б:** Если есть какая-то априорная информация о них, достаточно увидеть лишь часть такой линии, и мы сумеем ее продолжить.

**А:** И эта информация — непрерывность состояний? Не густо. Нет ли еще чего-нибудь?

**Б и В:** Конечно есть, и скоро мы узнаем что именно.

## ОТ МОЛЕКУЛЫ — К КОЛОСУ, ОТ КОЛОСА — К КОСМОСУ

Рассмотрим три задачи:

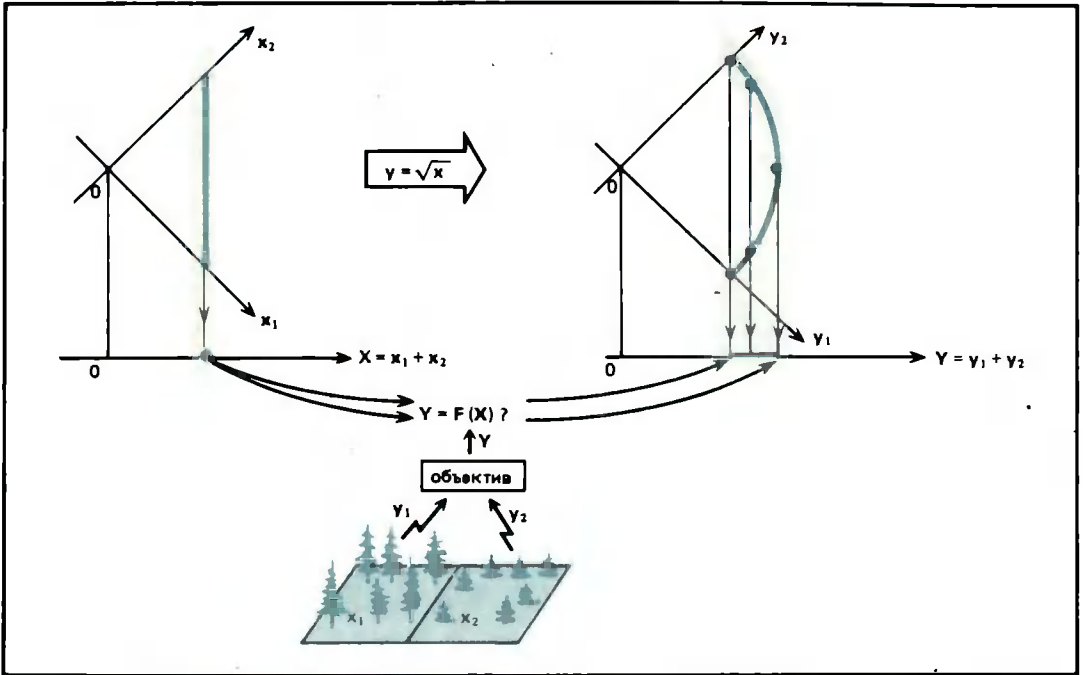
определить по космическому снимку урожайность пшеницы в данном районе;

опознать, кто изображен на снимке;

выяснить по снимку уличной толпы, в какой стране он сделан.

В первом случае, если разбить снимок на клеточки, искомая величина — урожайность — сохранит свой смысл и в них, только будет относиться к меньшей площади. Поэтому достаточно узнать, как наблюдаемый спектральный портрет зависит от урожайности в отдельной клеточке, затем по этим портретам для каждой из них определить урожайность и усреднить результат. Здесь мы вправе перенести на отдельную клеточку и саму задачу, и априорную информацию о связи результатов наблюдений с искомым параметром, значит, эта задача — локальная.

Во второй задаче интересующая нас характеристика не имеет аналога в клеточках, да и априорная информация — портреты разных людей — относится к снимку в целом. Ясно, что эта задача — глобальная: ее можно решать лишь в целом, по всему снимку.



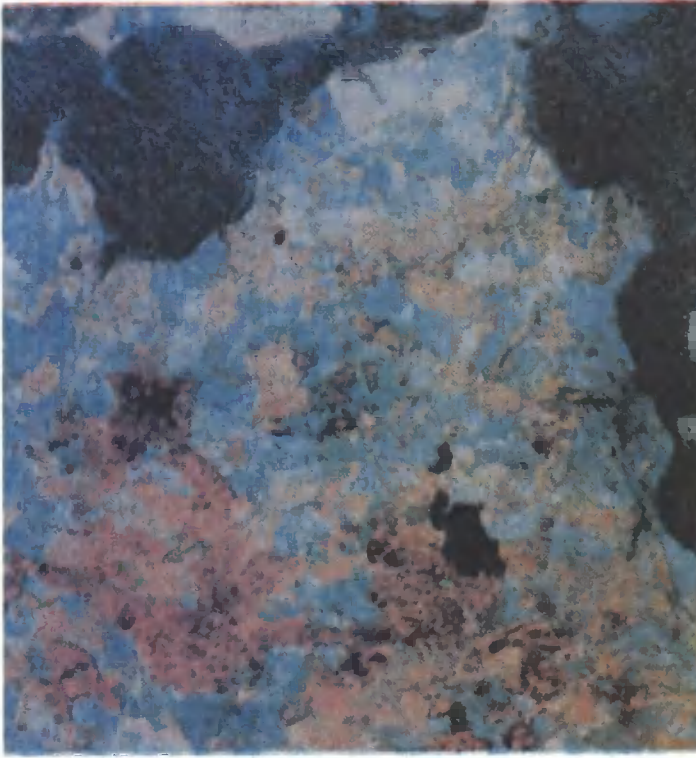
Геометрическая иллюстрация неопределенной связи между состоянием объекта и его яркостью, регистрируемой при дистанционном зондировании. Эту связь можно считать однозначной только для достаточно малой части геосистемы (скажем, отдельного растения). А регистрируемая яркость складывается из яркостей  $y_1$  и  $y_2$  участков, попадающих в один элемент разрешения объектива и покрытых, например, растительностью с разными биомассами  $x_1$  и  $x_2$ . Величины  $x_1$  и  $x_2$  при постоянной сумме  $X$  могут иметь различные значения, лежащие на цветной прямой ( $X = \text{const}$ ), проектируемой в точку на оси  $X$ . Яркость  $y$  связана с биомассой  $x$ , вообще говоря, нелинейным образом (здесь, для примера,  $y = \sqrt{x}$ ), поэтому прямая  $X = \text{const}$  превращается в кривую (в данном случае, дугу окружности) в координатах  $y_1$  и  $y_2$ , которая на оси  $Y$  выглядит уже не точкой, а отрезком. Иными словами, определенному значению суммарной биомассы  $X$  соответствует бесчисленное множество значений суммарной яркости  $Y$ , и связь  $Y = F(X)$  определить нельзя. Это затрудняет обработку космических снимков.

Наконец, в третьем примере «клеточка» — это отдельное лицо в толпе, и к ней относится априорная информация о различных типах лиц у разных народов. Иными словами, задача похожа на локальную, но не до конца: ни по какой отдельной клеточке нельзя найти ответ, ведь представители разных национальностей есть во всех странах. Но если мы встречаем «детей разных народов» во многих клеточках, можно с уверенностью заклю-

чить, что речь идет о нашей стране. Задачи такого типа назовем локализуемыми. Для них надо еще знать, как из локальных параметров складывается глобальный (скажем, каков национальный состав разных стран). Частный случай подобных задач — чисто локальные, где глобальный параметр — это просто среднее от локальных.

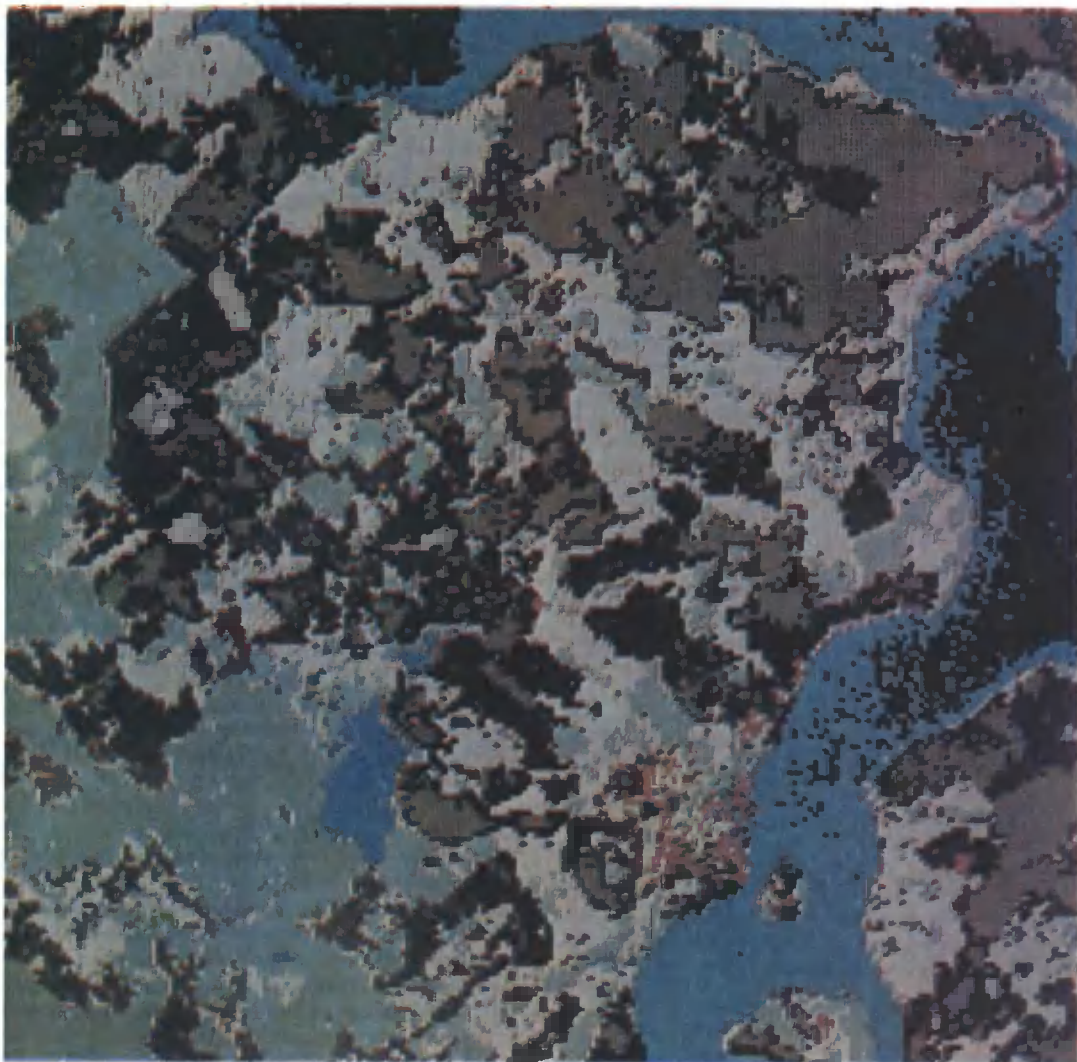
Какие же типы задач встречаются в дистанционном зондировании?

Прежде всего, глобальные, не предполагающие «клеточной» структуры объекта. Их основная трудность, пожалуй, в том, что в них встречаются специфические нелокализуемые параметры, для которых подчас трудно даже указать способ измерения. Как, например, объективно оценить степень поражения леса? Думается, это не легче, чем количественно определить внутреннее состояние человека, хотя все мы, вроде бы, и умеем «дистанционно зондировать» его по выражению лица. А в локальных моделях задачу интерпретации космических снимков решить не позволяют флуктуации состояния в отдельной «клеточке», поскольку связь регистрируемых характеристик излучения, к примеру суммарной яркости  $Y$ , с параметрами состояния, в частности общей биомассой  $X$  растительного покрова, становится неоднозначной (как видно из рисунка, определенному значе-



Космический снимок части территории ГДР (слева вверху) и карты, составленные в результате его визуальной расшифровки (слева внизу) и автоматической классификации на ЭВМ (справа). Исходное изображение представлено в условных цветах: синий соответствует зеленому в солнечном спектре, зеленый — красному, а красный — инфракрасному. Классификация производится по «квадратикам» (элементам разрешения). Сравнив полученную при этом тематическую карту с результатом визуальной расшифровки снимка, обнаружим значительные расхождения — множество неправильно классифицированных «квадратиков» внутри лесных массивов, полей и т. д. Поскольку при визуальной расшифровке анализируют карты землепользования и другие разнообразие справочные данные о территории, можно считать, что ее характеристики отражены довольно точно. Следовательно, расхождения свидетельствуют об ошибках автоматической классификации (ее средняя точность 70—80%), что ставит под сомнение ее практическую ценность.





нию  $X$  могут соответствовать разные значения  $Y$ ).

Именно это обстоятельство и заставляет нас остановиться на локализуемых моделях. Раз для всего наблюдаемого участка нет детерминированной связи  $Y$  с  $X$ , найдем ее в малой (меньше элемента разрешения) и неразличимой на снимке ячейке, где она существует. Не наблюдаемые непосредственно флуктуации биомассы  $X$  вызывают регистрируемые вариации яркости излучения  $Y$  от одного элемента разрешения к другому, т. е. порождают некоторое распределение вероятности интенсивности излучения. Меняя параметры распределения вероятности состояния  $p(X)$  и

зная функцию связи, удается подобрать такое расчетное распределение вероятности излучения  $P(Y)$ , которое лучше всего согласуется с результатами наблюдений.

Это уже шаг вперед, но еще недостаточный для полного решения задачи интерпретации в дистанционном зондировании. Дело в том, что такая задача некорректна, или неустойчива: ее решение  $p(X)$  сильно меняется при малых возмущениях принятого сигнала  $P(Y)$ . Причина в том, что набор возможных функций  $p(X)$ , используемых в качестве допустимой априорной информации, слишком широк: так называемое бесконечномерное функциональное пространство. Если же его под-



ходящим образом ограничить, упомянутая неоднозначность устраняется, или, как принято говорить, некорректная задача регуляризуется. Но как это сделать? Какое функциональное пространство соответствует реализуемым в природе распределениям, иными словами, чем ограничено разнообразие возможных распределений вероятности состояния геосистем — вот центральный пункт всей проблемы.

Итак, при взгляде «сверху» удается сформулировать следующие априорные требования к модели объекта: локализуемость; ограничение возможных распределений вероятности различных значений локальных параметров состояний; инвариантность связи между этими параметрами и регистрируемой яркостью на ансамбле экспериментов; знание того, как построить из локальных параметров глобальный (скажем, как среднее арифметическое). Как же построить модель, удовлетворяющую этим требованиям?

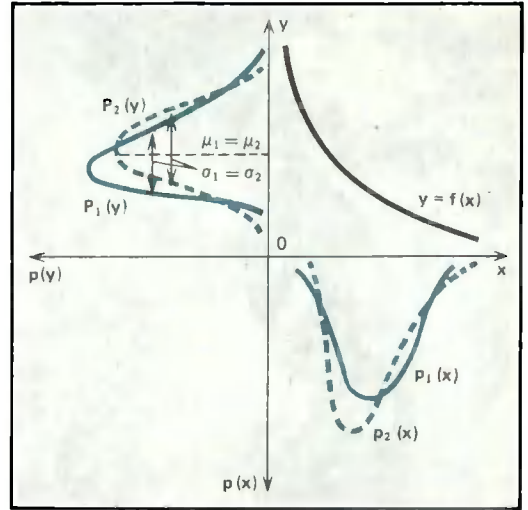
**Аналогия с термодинамикой.** Упомянутый выше класс локализуемых моделей не нов: это хорошо известные в физике термодинамические модели. Суть всей статистической физики в том, что такие глобальные характеристики, как объем, температура, давление и т. д., выражаются через локальные, связь между которыми известна из уравнений движения молекул. Эта связь аналогична той, что существует между биомассой  $x$  и яркостью  $y$  и одинакова для всех систем ансамбля. Распределение вероятности флуктуаций локальных параметров в замкнутой термодинамической системе не произвольно, а подчиняется формуле Эйнштейна:

$$P(x) \sim \exp S(x)$$

( $S$  — флуктуирующее значение энтропии).

Все это очень похоже на перечисленные требования. Поневолле возникает соблазн перенести целиком методы термодинамики в дистанционное зондирование и «по аналогии» получить в свое распоряжение новый подход к задаче диагностики состояния геосистем. Правда, для этого надо вывести термодинамику из столь общих аксиом, чтобы они выполнялись и в дистанционном зондировании. Общепринятой же аксиоматической формулировки термодинамики пока нет. Попробуем, впрочем, продвинуться в этом направлении.

Поможет нам то, что многие соотношения, которые традиционно считают следствиями физических предположений, необходимых в термодинамике, на самом деле



Пример неоднозначного соответствия между исходной информацией (состоянием объекта) и регистрируемым сигналом (образом). Разные распределения вероятности состояния  $p_1[x]$  и  $p_2[x]$ , описываемого переменной  $x$ , порождают схожие сигналы  $y$ : для распределений  $P_1[y]$  и  $P_2[y]$  средние значения  $\mu_1$  и  $\mu_2$  и среднеквадратичные отклонения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  совпадают. Это типично для так называемых некорректных задач, где преобразования  $y = f(x)$  действуют подобно искривленному зеркалу, в котором непохожие лица утрачивают свои особенности и выглядят почти одинаково.

выводятся из чисто математического условия: распределение  $p(x)$  вероятности флуктуаций локального (молекулярного) состояния должно принадлежать так называемому экспоненциальному семейству функций

$$p_k(x) = \frac{a(x)}{b(\theta_1, \dots, \theta_k)} \exp[\theta_1 H_1(x) + \dots + \theta_k H_k(x)]$$

( $H$  и  $\theta$  — аналоги энергии и температуры соответственно;  $b$  — не зависящая от состояния  $x$  величина — аналог свободной энергии;  $a(x)$  — микроканоническое распределение, описывающее флуктуации  $x$  на «изоэнергетической поверхности», где постоянны значения  $H$ ). При  $k=1$  это выражение сводится к обычному каноническому распределению (для флуктуаций состояния системы в термостате) — основе классической термодинамики.

В термодинамике все параметры выступают как бы в двух ролях. С одной стороны, они представляют собой нефлуктуирующие средние по распределению — характеристики макроскопического состоя-

ния системы. Но их можно приближенно выразить и через флуктуирующие локальные состояния отдельных молекул, причем точность приближения тем выше, чем больше молекул в системе. Обычно в системах, рассматриваемых в термодинамике, молекул так много, что нет необходимости обращать внимание на эту двойственность, уточняя, какая величина, в частности энергия  $b$  или  $H$ , имеется в виду. Но в дистанционном зондировании, где «клеточек» гораздо меньше, да и в разреженных термодинамических системах, это не так.

Можно показать, что и при  $k > 1$  выполняются привычные термодинамические соотношения. Дифференцируя, например, условие нормировки  $\int p(x) dx = 1$  и энтропию

$$S = \int p(x) \cdot \ln[p(x)/a(x)] dx$$

по «температурам»  $\theta$  и «энергиям»  $H$ , получим «классические» уравнения термодинамики. В частности, выражение для приращения  $db$  совпадает с ее первым законом. Второй же закон термодинамики следует из самого вида  $p(x)$ , поскольку экспоненциальное семейство имеет максимальную энтропию среди всех возможных распределений с одинаковыми средними значениями  $H$ .

Как видно, это практически все, что нужно для дистанционного зондирования. Физическая же природа системы сказывается только на конкретном виде величин  $H$  и микроканонического распределения  $a(x)$ .

Таким образом, осталось лишь выяснить, что обеспечивает принадлежность распределения  $p(x)$  к экспоненциальному семейству, и соблюдать это требование в дистанционном зондировании.

**В:** Что же здесь нового? То, что термодинамика основана на принципе максимума энтропии, общеизвестно.

**Б:** Если бы только на нем. Привлекают и теорему Лиувилля, и эргодичность, и первый закон, и малость флуктуаций, и неубывание энтропии — каждый автор свое. Некоторые из этих постулатов в дистанционном зондировании, очевидно, невыполнимы.

**А:** В этом нет ничего удивительного, но неужели можно построить термодинамику без них?

**Б:** Смотря как строить. Исходя из «первых принципов», нельзя, а феноменологически можно: все системы, где не-

приемлемо сокращенное термодинамическое описание, просто-напросто отбрасываются, ибо измерения в них не воспроизводимы.

**Принцип максимума энтропии.** Этот принцип как общий метод статистического подхода предложил Э. Джейнс<sup>3</sup>. Он рассматривает вероятность и энтропию субъективно: как меру неопределенности информации о системе. Экспоненциальное семейство распределений вероятности состояний системы следует из этого принципа при заданных средних значениях ее параметров, и из всего возможного набора совместимых с ними распределений Джейнс считает этот вид «самым непредвзятым». Но как это выразить математически? Никакого критерия, формализующего слово «непредвзятый», нет (да если бы и был, то отражал бы, скорее, наши вкусы, которым природа угождать не обязана). Из-за этого и субъективной трактовки энтропии многие физики относятся к гипотезе Джейнса скептически. Мы попытаемся «перевести» ее на привычный «объективный» язык, в котором вероятности — это обычные частоты на некотором ансамбле. Под ансамблем будем понимать совокупность систем с разными локальными (микроскопическими) состояниями  $x$  в фазовом пространстве (пространстве переменных, полностью характеризующих эти системы), где их изменение описывается детерминированными законами.

Оказывается, только если распределение принадлежит экспоненциальному семейству, измерения в ансамбле воспроизводимы. При этом все системы ансамбля порождаются выборкой из одного и того же распределения, другими словами, в фазовом пространстве существует вероятностная мера, инвариантная относительно операций, по мнению экспериментатора, не меняющих ансамбль. Например, не имея возможности проводить измерения одновременно, он вынужден ограничиться лишь теми ансамблями, на которые не влияет сдвиг по времени.

Измерительные приборы, определяя макроскопические характеристики, делят тем самым ансамбль на «слои» с одинаковым значением этих характеристик, соответствующим макроскопически идентичным системам. Если случайные величины  $x_i$  не-

<sup>3</sup> Jaynes E. T. Where Do We Stand on Maximum Entropy // Maximum Entropy Formalism. Cambridge (Mass.). 1980. P. 1—115.

зависимы и каждая из них распределена по закону  $p(x)$ , то при фиксированном значении выражения  $\sum_{i=1}^n f(x_i)$  распределение

каждой из величин  $x_i$  в пределе, когда их много, с неизбежностью станет членом экспоненциального семейства<sup>4</sup>. Иначе говоря, если система состоит из большого числа независимых молекул, то и в каждом слое, и во всем ансамбле распределения их состояний описываются функциями из этого семейства.

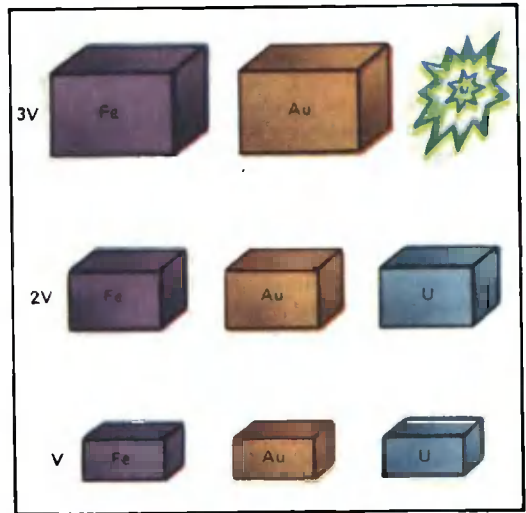
Можно прийти к этому выводу и другим путем, более физическим и общим, предполагая воспроизводимость не только ансамбля в целом, но и отдельных измерений, т. е. вида его «расслоения» на макроскопические состояния. Существует ряд операций, которые приходится считать допустимыми, чтобы вся теория имела практический смысл. Это изменение системы координат, сдвиг во времени, а также уменьшение или увеличение самой системы, ее сжатие или расширение, нагрев или охлаждение и т. п. Они моделируются соответствующей группой математических преобразований. Эта группа и инварианты слоя, остающиеся неизменными при преобразованиях, — вот те два кита, что держат ансамбль.

Если эксперимент воспроизводим, любой из допустимых процессов ведет из одного макроскопического состояния (слоя) всегда в один и тот же другой слой. От неконтролируемого локального состояния исходного слоя результирующий слой не зависит. Разумеется, априори нет никаких гарантий такой воспроизводимости, просто, как уже отмечалось, ансамбли, где ее нет, обнаруживаются экспериментально и отбрасываются.

Элементы группы, переводящие один слой в другой, делают их «подобными», а те, что действуют внутри слоя, допускают существование только такого распределения вероятности, которое полностью определяется инвариантами слоя. При этом семейство распределений на всей совокупности слоев экспоненциальным<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Chakrabarti C. G'. Rep. on Math. Phys. 1979. Vol. 16. № 2. P. 143—145.

<sup>5</sup> Этот вывод следует из так называемой эргодической теоремы, смысл которой в том, что если существует упомянутая вероятностная мера, то существуют и средние по наблюдениям, т. е. по времени, равные средним по мере, т. е. по распределению. Подробнее см.: Sampenhouit J. M. van // IEEE Trans. on Information Theory. 1980. Vol. 27. № 4. P. 483—488.



Пример ансамбля, необходимость ограничения которого заранее неочевидна, но устанавливается экспериментально. Ансамбль состоит из образцов разных металлов, у которых исследуется, скажем, теплоемкость как функция объема  $V$ . На первый взгляд, вид металла и форма образца не играют никакой роли, так что результаты измерений воспроизводимы [искомая функция линейна]. Но так будет только до тех пор, пока в ансамбль не попал уран или другой делящийся элемент, для которого, как известно, существует критическая масса. Обнаружив невоспроизводимость результатов, придется ограничить ансамбль, исключив из него «неправильные» элементы.

Итак, экспоненциальное семейство распределений сопутствует расслоенному ансамблю с воспроизводимыми слоями и достаточно богатой группой преобразований.

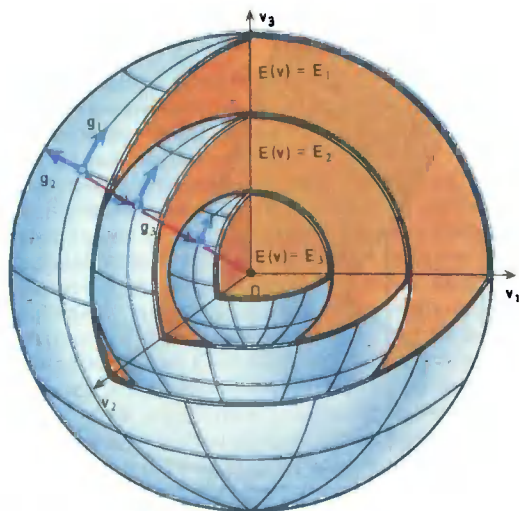
**В:** Почему же все-таки именно экспоненциальное семейство?

**Б:** Просто оно единственное устойчиво относительно любых преобразований, действующих на ансамбль.

**В:** Но ведь можно приготовить «руками» ансамбль с распределением, не принадлежащим этому семейству?

**Б:** Да, но для него будет неверна эргодическая теорема, а значит, несправедлив закон больших чисел, неустойчивы средние значения, так что оно поневоле станет модифицироваться и в конце концов попадет в экспоненциальное семейство.

**В:** А зачем вообще ансамбль? Почему нельзя прямо в наблюдаемой системе по



Вид ансамбля в фазовом пространстве для одномерной системы из трех частиц со скоростями  $v_1, v_2, v_3$ . Ансамбль состоит из слоев, характеризующихся инвариантами — постоянными термодинамическими параметрами [в данном случае — кинетической энергией системы  $E$ ]. Для частиц одинаковой массы эти слои сферические, если же массы разные, то слои эллипсоидальные. На ансамбле можно определить группу преобразований [перемещений], часть из которых не выводит из слоя [синие стрелки  $g_1$  и  $g_2$ , изображающие движение по «параллелям» и «меридианам»], а остальные переводят один слой в другой [красные стрелки  $g_3$ , направленные по радиусам сфер]. Эта группа преобразований не должна менять распределение вероятности на ансамбле.

средним от одних величин оценивать средние от других?

**Б:** Пожалуйста, но как сравнить, какой метод оценки лучше?

**В:** Да хотя бы по ожидаемой среднеквадратичной ошибке.

**Б:** Вот именно — ожидаемой. А где? В других системах, подобных наблюдаемой. Так и появляется ансамбль, причем бесконечный, в котором можно рассчитать любые «ожидаемые»: ошибку, ошибку вычисления ошибки и т. д.

**В:** А что если одну и ту же систему мы станем помещать в разные ансамбли?

**Б:** Поскольку предсказания средних делаются для всего ансамбля, они должны различаться, даже если сама система, за которой ведется наблюдение, не меняется. Так, при изменении группы симметрии ансамбля это обусловлено изменением микроканонического распределения.

**А:** Выходит, значения термодинами-

ческих параметров зависят от нашего произвола?

**Б:** Что ж, результаты измерений вообще зависят от выбора системы отсчета. Но на основные термодинамические соотношения, например на производные одних параметров по другим, выбор микроканонического распределения уже не влияет.

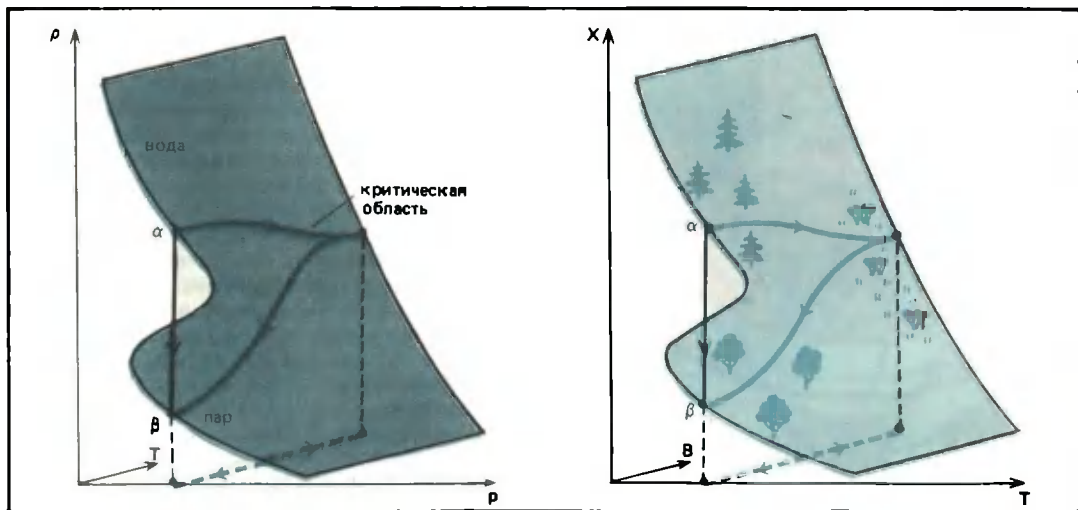
**А:** Вот видите, вы гнали субъективность Джейнса в дверь, а она вернулась через окно: в виде устройства ансамбля.

**Б:** Ничего не поделаешь, совсем без наблюдателя в физике не обойтись...

**Максимум энтропии в задачах интерпретации.** Пусть, для простоты, состояние геосистемы в каждой «клеточке» определяется всего двумя величинами, но непосредственно измеряется из них только одна. А надо оценить статистические характеристики, или глобальные параметры (среднее значение, дисперсию и т. д.) для второй. Как решать такую задачу?

Прежде всего, из ансамбля выделяют слой, в котором искомые параметры имеют те же значения, что и в наблюдаемой системе. Эти параметры играют роль инвариантов слоя, а весь ансамбль делится на подобные слои с другими значениями параметров. Любое распределение состояния на таком ансамбле, как сказано выше, принадлежит экспоненциальному семейству, так что распределение результатов наблюдений можно рассчитать как определенную функцию этих параметров и «подогнать» под известные данные. От «природы», т. е. конкретных свойств геосистемы, будет зависеть только, воспроизводим или нет такой ансамбль, а также вид его микроканонического распределения. Это распределение задает группа симметрии ансамбля, иными словами, такие изменения геосистемы, которые считаются допустимыми, скажем перенос в пространстве, изменение размеров, симметрии уравнений динамики для отдельных «клеточек», например гидродинамических уравнений Навье — Стокса для водоемов.

Как ограничить ансамбль, чтобы измерения на нем были воспроизводимыми? Только экспериментально, в частности, выявляя систематическое расхождение в оценках параметров состояния для идентичных систем, отличающихся лишь допустимыми преобразованиями, и фиксируя дополнительно какие-либо параметры, изменение которых вызывает это расхождение. Так, изменение свойств геосистем, связанное с широтой, можно устранить,



Фазовый переход между жидкостью и паром (слева) и его аналог — смена хвойного леса лиственным (справа). При фиксированных значениях температуры  $T$  и давления  $p$  могут существовать как пар, так и перегретая жидкость [правда, последняя лишь в метастабильном состоянии]. У этих фаз, обозначенных символами  $\alpha$  и  $\beta$ , разная плотность  $\rho$ . Обычно фазовый переход между ними происходит скачком (вертикальная стрелка). Но подняв температуру выше критической, а затем снова снизив ее (пунктирные стрелки), удается плавно перейти от перегретой жидкости к пару (изогнутые стрелки). Если предположить, что фазовая диаграмма в переменных: температура ( $T$ ), влажность ( $B$ ) и биомасса ( $X$ ) — аналогична изображенной слева, то хвойный лес на ней «метастабильен». В нормальных условиях он «не пускает» на свою территорию «конкурента», но после уничтожения не восстанавливается, а сменяется лиственным (вертикальная стрелка). При постепенном увеличении, а затем уменьшении влажности  $B$  [пунктирная стрелка] происходит плавная смена хвойного леса лиственным (изогнутые стрелки).

ограничившись определенным географическим поясом.

**Новый вид «сверху».** Итак, аналогия с термодинамикой дает нам новый класс моделей для глобальных характеристик геосистем, класс, доступный для изучения с помощью дистанционного зондирования. Модели в нем характеризуются своими группами симметрии, уравнениями состояния с регистрируемыми в эксперименте величинами. Класс этот возникает (как и в термодинамике) чисто статистически: при росте числа «клеток» в устойчивой системе взаимозависимости параметров упрощаются. Не начать ли систематические ис-

следования геосистем именно с этого уровня? И сами модели на нем проще настолько же, насколько уравнения термодинамики для системы из большого числа частиц проще динамических уравнений, и дистанционное зондирование для сбора данных несравненно эффективнее наземных наблюдений.

Результаты зондирования можно представить точками в пространстве «термодинамических» (глобальных) параметров. Определяемая ими поверхность изобразит «уравнение состояния» системы, подчиняющаяся некоторым ограничениям, используя которые и проанализировав, например, состояние системы «вблизи нормы», в принципе удалось бы предсказать, при каких условиях в ней возможен «фазовый переход», в частности определить ее устойчивость к антропогенному воздействию. Не секрет, что эта проблема одна из самых «горячих», но до сих пор к ней не было разумных подходов: не отравлять же природу специально, выясняя пределы ее сопротивляемости!

Но каков практический смысл всей этой деятельности? Ведь дистанционное зондирование предназначено для выбора оптимального воздействия на геосистему. Увы, сегодня каждый потребитель информации, полученной с помощью дистанционного зондирования, пытается воздействовать на «свой» параметр ее состояния обособленно, хотя такая система — единое целое и требует комплексного подхода. Что же нужно сделать, чтобы полученная из космоса информация использовалась эффективнее?



## УПРАВЛЕНИЕ ГЕОСИСТЕМАМИ

Любой живой организм — это система автоматического регулирования, точнее, гомеостат, поддерживающий постоянство основных параметров, в том числе температуры, внутриклеточного давления, концентраций некоторых веществ в крови и тканях, и т. д. Воздействие же окружающей среды постоянно стремится нарушить это равновесие. Информационные системы организма диагностируют это нарушение, затем в нем принимается (возможно, рефлекторно) то или иное решение и выдается соответствующий сигнал, в результате чего меняются значения прочих, «неподдерживаемых» параметров организма и отклонение от нормы уменьшается.

Похоже обстоит дело и в таких геосистемах, как лес, луг и т. п., которые трудно назвать организмами. В них средние значения переменных (мы пока не знаем, каких именно) поддерживаются просто за счет большого числа элементов системы. Это напоминает знаменитый принцип Ле Шателье в термодинамике: если вывести систему из равновесия, воздействуя на какой-либо ее параметр, в ней возникнут процессы, стремящиеся ослабить воздействие.

Но при нарастании воздействия сохранять таким образом нормальное состояние системе становится все труднее, и наступает момент, когда она «заболевает», жертвуя, например, постоянством менее важных параметров. Наконец, при еще более сильном воздействии, как упоминалось, возможен «фазовый переход», когда система сменяется другой.

Эти параллели наводят на мысль об автоматизированной системе управления (АСУ) геосистемой. Ее можно рассматривать как дополнительную цепь обратной связи, которая должна «помочь» геосистеме, когда та уже не в состоянии поддерживать свои характеристики «в норме», и заменить неприемлемые для нас способы саморегуляции другими. Так, растения реагируют на засуху экономией влаги и, как следствие, ослаблением фотосинтеза. Это чревато неурожаем, и цель АСУ — заменить такой способ регулирования поливом. Даже из этого простого примера ясно, насколько важно при проектировании подобных АСУ знать инварианты и «уравнения состояния» регулируемой системы, в особенности точки «фазовых переходов», от которых стоит держаться подальше.

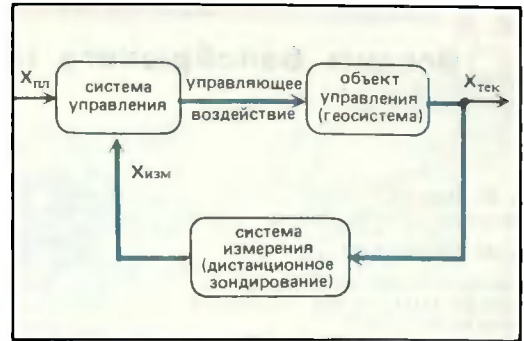


Схема АСУ состоянием геосистемы.  $X_{пл}$  — параметры, описывающие планируемое состояние системы (входной сигнал);  $X_{тек}$  — параметры, характеризующие ее текущее состояние (выходной сигнал);  $X_{изм}$  — параметры, измеренные при дистанционном зондировании (сигнал обратной связи). Управляющее воздействие формируется как реакция АСУ на рассогласование сигналов  $X_{пл}$  и  $X_{изм}$ .

Дистанционное зондирование пока не стало информационным звеном АСУ из-за большой задержки между съемкой и получением тематических карт. Задержки же в звеньях АСУ способны вызвать фазовые сдвиги сигналов управления, в результате чего управляющее воздействие на систему вместо пользы может принести вред. АСУ может даже потерять устойчивость и самовозбудиться, подобно неисправному радиоприемнику. Чтобы правильно рассчитать такую АСУ, надо знать передаточные характеристики всех ее звеньев — их отклики на скачкообразные воздействия.

Подчеркнем еще один аспект дистанционного зондирования в АСУ. Регистрируя реакции системы на различные управляющие воздействия, мы пополняем и уточняем данные о ней гораздо эффективнее, чем пассивно наблюдая за флуктуациями ее состояния.

В заключение отметим, что курс на интенсификацию настоятельно требует создания подобных АСУ (хотя бы для нужд сельского хозяйства). Думается, это поможет решить не только производственные, но и серьезные экологические проблемы, обеспечив необходимую гармонию во взаимоотношениях человека с окружающей средой.





## Вселить белобрюхого тюленя в крымские воды

**В. А. Бычков,**  
кандидат биологических наук

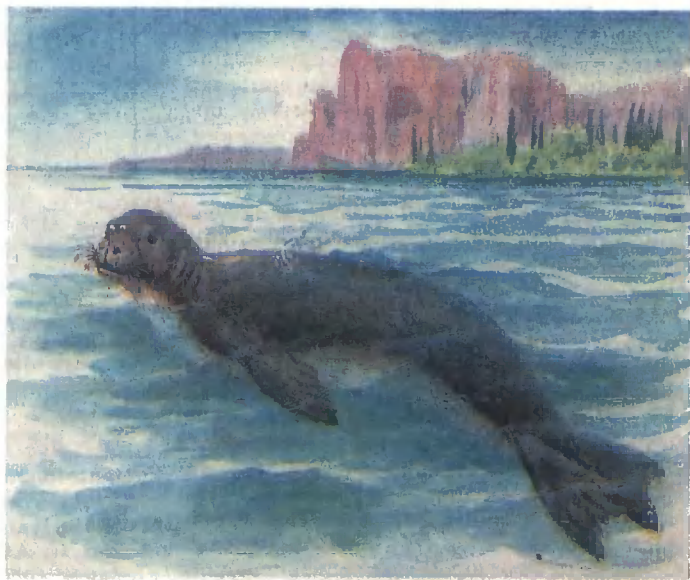
**Т. Ю. Вишневская**

Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны природы и заповедного дела

Белобрюхий тюлень, или тюлень-монах (*Monachus monachus*), — единственный из ластоногих, обитающих в Черном море. В настоящее время эти тюлени исчезли из акватории СССР, у побережий Болгарии и Турции их осталось несколько десятков. Тюлень-монах обитает также в Средиземном море и у побережий Африки. Но во всех этих местах его насчитывается не более 5—6 сотен. Он включен в Красные книги МСОП, СССР, Украины, Грузии как вид, находящийся под угрозой исчезновения.

Численность и ареал белобрюхого тюленя сократился не только за счет его истребления, но, главным образом, из-за усиления фактора беспокойства. Осваивая и заселяя побережья, человек вытесняет тюленя, который отдыхает и размножается на суше, где проходит и его линька. Однако, судя по исследованиям 1970—1972 гг. на о. Сардиния, сейчас белобрюхие тюлени живут и размножаются только в пещерах, вход в которые полностью или частично находится под водой.

У берегов Крыма белобрюхий тюлень еще встречался в начале нашего века, но и тогда считался редким; более или менее регулярно его можно было видеть поблизости от обрывистого скалистого побережья п-ова Тарханкут в Западном Крыму. В этих местах скалы с морской стороны сложены из мергелистого известняка — породы, весьма благоприятной для образования пещер. Полагая, что в это прежнее место оби-



Белобрюхий тюлень. Рисунок В. Д. Колганова.

тания можно вселить исчезнувшего там тюленя, в 1983 г. мы обследовали побережье Тарханкута, осмотрели прибрежные скалы по всей глубине от уреза воды до их подножия. На одном из участков с длиной береговой линии в 4 км мы обнаружили 6 пещер, которые тюлени могли бы использовать в период щенки. Воздушные камеры пещер достаточно велики, хорошо аэрируются и имеют площадки для выхода и лежки тюленей. Пять пещер с подводным входом вполне пригодны для размножения; одна может служить временным убежищем для большой группы животных; есть также пещеры, в которые тюлени могли бы залпнуть не ныряя. На обследованном участке побережья много подводных гротов, вымоин, несколько пещер с небольшой воздушной камерой.

По подсчетам, в имеющихся пещерах достаточно ме-

ста для размножения примерно 20 тюленей, но если сделать более удобными для них пещеры, которые сейчас недостаточно подходящи, на п-ове Тарханкут смогут размножаться 30—40 особей.

Мы понимаем, что реакклиматизация тюленя — мероприятие очень не простое. Оно осложнено не только тем, что тюлень не водится в отечественных водах, но и тем, что вид, будучи малочисленным, в своем мозаичном ареале живет небольшими, легко уязвимыми колониями. Но с этим положение несколько улучшилось: в последнее время в акваториях Греции и Турции обнаружены новые скопления белобрюхого тюленя, по численности наибольшие из до сих пор известных. Соглашения между государствами по изъятию нескольких тюленей можно достигнуть, обратившись за помощью в Международный Союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП). Этой организацией белобрюхий тюлень внесен в число 12 видов животных мировой фауны, нуждающихся



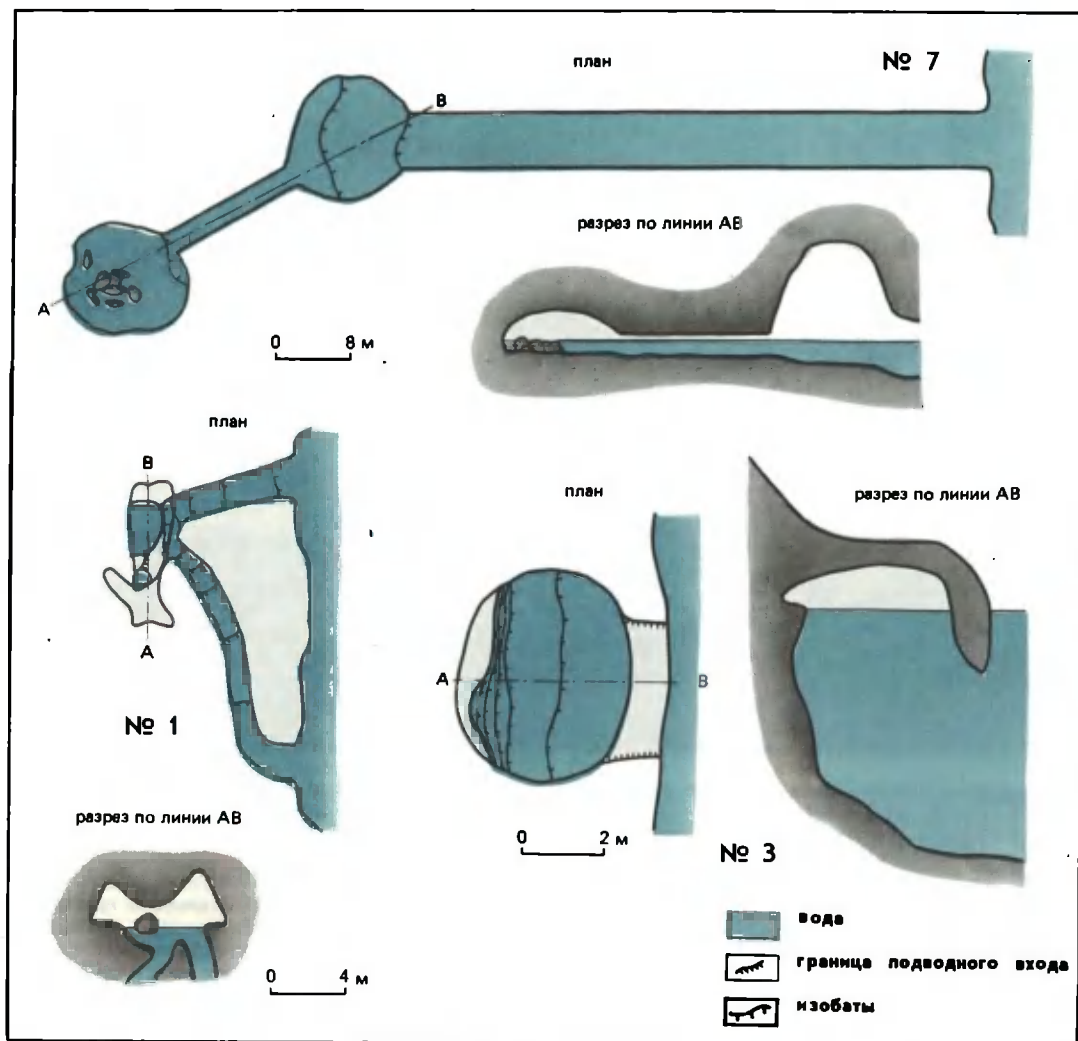
Скалистый берег с пещерой на п-ове Тарханкут.

в безотлагательных мерах по спасению. Примеры международного сотрудничества по спасению животных существуют, достаточно вспомнить стерха.

Итак, в Крыму есть условия для реакклиматизации белобрюхого тюленя, однако возможна она лишь в том случае, если побережье Тарханкута и прилегающая акватория прежде станут заповедными. В последние 10 лет зоологи и ботаники многократно вносили и обосновывали предложения о создании Тарханкутского заповедника. Создать его необходимо не только в расчете на интродукцию тюленя, но и чтобы спасти многие виды растений, гнездовой птиц, предотвратить эрозию почвы и разрушение берегов полуострова, усиливающиеся с каждым годом из-за неорганизованного туризма. В границы заповедника необходимо включить прибрежные участки степи, акваторию от мыса Тарханкут

Нагромождение камней и едва прикрытое дно пещеры № 7. Здесь

тюлени могли бы отдыхать, выводить и выкармливать щенков.



План и разрезы некоторых пещер. Пещера № 1 имеет два коридора, воздушную камеру сложной конфигурации и удобные места для выхода нескольких тюленей. Пещера № 3 имеет небольшой каменный уступ, на котором могли бы поместиться лишь 1—2 тюленя. Но за счет короткого и широкого входа и большой площади водного зеркала при опасности в пещере могла бы временно укрыться большая группа животных. Вход и галерея пещеры № 7 частично находятся под водой, есть две воздушные камеры с каменным дном в одной из них, длинный (около 85 м), достаточно глубокий (от 2 до 5 м) и широкий (1,5—8 м) коридор. По коридору могли бы двигаться несколько тюленей, а в камере — размножаться большая группа.

до мыса Ойрат (шириной 1,5—2 км) и охранную зону со стороны моря шириной не менее 3 км. В заповедной зоне такого размера будет сведен до минимума фактор беспокойства, а тюлени будут хотя бы минимально обеспечены кормом.

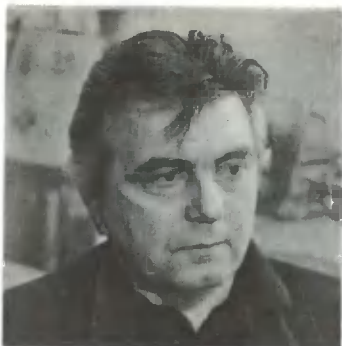
Конечно, перед непосредственным вселением тюленей нужно потрудиться зоологам: отловить беременных самок или размножающиеся пары; транспортировать их к месту предполагаемого жительства; обеспечить условия содержания во временном вольере и полувольного содержания в пещерах и прилегающей акватории, чтобы на первом этапе удерживать там животных. Опыт по-

добной работы тоже есть, правда, с другими ластоногими (например, калифорнийским морским львом); технически хорошо отработаны стадии реинтродукции калана. Воспользовавшись этим, можно разработать конкретную программу действий по переселению и содержанию белобрюхого тюленя.

Сейчас пока есть возможность создать Тарханкутский заповедник в местах, как нельзя более подходящих для реаклиматизации белобрюхого тюленя. С этим нельзя задерживаться, разрушение побережий идет столь быстро, что через несколько лет вселять этих удивительных животных будет некуда.

## Руды на подводных горах

Ю. А. Богданов, А. М. Подражанский



Юрий Александрович Богданов, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Занимается геологической историей океана, процессами формирования океанического дна, в том числе образования рудных залежей.



Александр Моисеевич Подражанский, кандидат технических наук, старший научный сотрудник того же института. Занимается проблемами эксплуатации технических средств изучения и освоения океана.

В последние годы рудные богатства океана привлекают особое внимание геологов. Установлено, что наибольшее экономическое значение среди месторождений океанического дна имеют железо-марганцевые конкреции. Но большинство из них располагается на больших глубинах — около 4000 м. Более доступны железо-марганцевые корки и конкреции, обнаруженные на склонах подводных гор и островных шельфов на глубинах от нескольких сотен до 2500 м. Эти образования неоднократно поднимали на борт научно-исследовательских судов в различных районах Мирового океана с помощью драг.

### ОТ ДРАГИ К ПОДВОДНЫМ АППАРАТАМ

Долгое время драга была одним из основных инструментов морского геолога. Это стальной цилиндр диаметром около 1 м, один торец которого закрыт металлической сеткой. Драгу опускают за борт на тросе, и дрейфующее судно тащит ее по грунту. Прыгая по склону подводной горы, драга то зарывается в осадки, то цепляется и обламывает коренные породы. Иногда она закрепляется так сильно, что трос не выдерживает и вместе с «уловом» драга остается на дне. Принесенные ею



образцы, конечно, дают некоторую информацию о геологическом строении склона. Но её довольно трудно отнести к определенному месту на дне, так как обычно захваченные в разных участках породы в драге перемешаны.

Исследования, проведенные с помощью драг, показали, что железомарганцевые конкреции и корки на подводных горах распространены крайне неравномерно, их толщина составляет всего несколько сантиметров. Поэтому их промышленные разработки казались нерента-

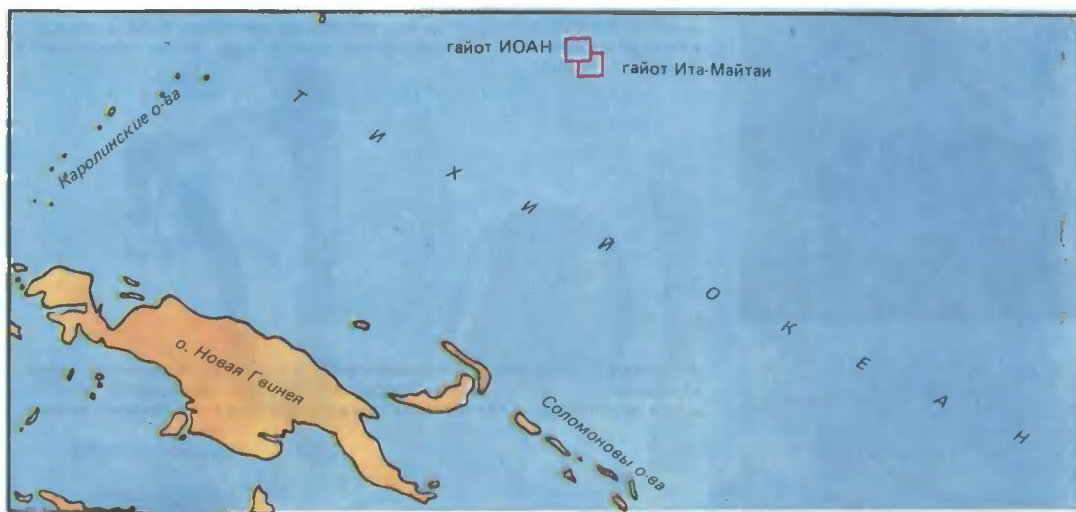
бельными. Однако было ясно, что эти оценки нельзя считать достоверными, и мы смогли в этом убедиться, получив возможность проводить картирование океанического дна с такой же детальностью, как это делается на континентах.

В 1982 г. в 4-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» на подводных горах Атлансис и Жозефина в Атлантическом океане мы начали исследовать мелководные железомарганцевые корки и конкреции с помощью обитаемых подводных аппаратов «Пайсис-VII» и «Пайсис-XI», способных погружаться на глубину 2000 м. Затем эти работы были продолжены в 1984 г. в 7-м рейсе того же судна на подводном Западно-Австралийском хребте (или хребте Брокен)

в Индийском океане и в 9-м рейсе на подводных горах Тихого океана.

Подводные обитаемые аппараты могут передвигаться над поверхностью грунта, но имеют ограниченные энергоресурсы и малую скорость. За одно погружение аппарат проходит маршрут длиной всего в 3 км. Поэтому геологические исследования проводят, выбрав небольшие наиболее интересные участки дна.

Сначала с помощью эхолотов проводится батиметрическая съемка дна и составляется подробная карта рельефа, необ-



Положение полигонов, исследованных с помощью обитаемых подводных аппаратов «Пайсис» во время 9-го рейса научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в Тихом океане, 1984 г.

ходимая для обеспечения безопасности погружений и точной прокладки маршрутов по подводным ландшафтам. Видимость на дне океана в свете прожекторов аппарата редко превышает 10—15 м. Одновременно проводится геофизическая съемка, которая позволяет выявить зоны выхода коренных пород и участки дна, засыпанные осадками. Взятие проб со дна с помощью грунтовых трубок, тралов и драг детализирует общую геологическую картину, и после этого наступает очередь подводных обитаемых аппаратов, для которых разбивается гидроакустический полигон с донными маяками, позволяющими определить местоположение аппарата в процессе его работы под водой. Начинается подготовка к погружениям.

Подводный аппарат находится на плаву. Под ним на глубине около 2000 м на склоне подводной горы — место, с которого он должен начать восхождение к вершине. В кабине аппарата трое — командир, бортинженер и наблюдатель. После необходимых проверок всех систем и док-

Разрез через гайот Ита-Майтан. Ядром горы служат вулканические породы, на которых залегают продукты разрушения вулканических построек — брекчии, конгломераты, песчаники. На вершине горы откладываются и впоследствии цементируются остатки рифов и лагуны осадки. Сверху их покрывают рыхлые отложения, сложенные скелетными остатками планктона. Рудные корки и железо-марганцевые конкреции встречаются в основном на слабонаклоненных поверхностях на глубинах от 1600 до 2000 м.

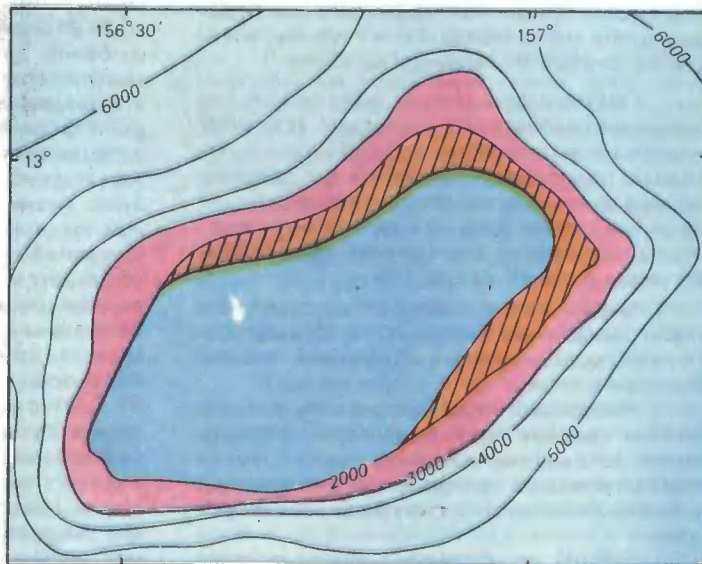
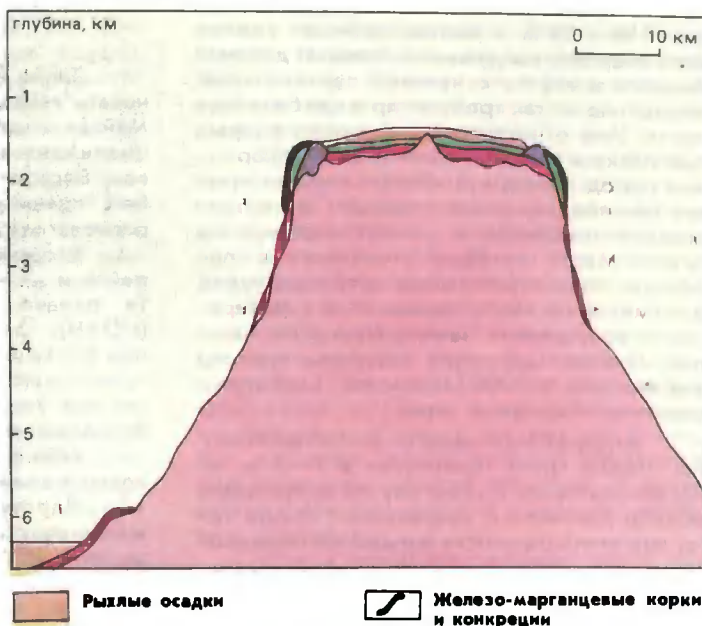
- Базальты
- Вулканические отложения

Мелководные карбонатные образования:

- коралловые постройки
- обломочные карбонатные отложения
- лагуны оолитовые известняки

Область распространения руд на склонах гайота Ита-Майтан. Железо-марганцевые рудные корки и конкреции покрывают верхнюю пологую часть склона, где нет рыхлых осадков и на поверхность выходят древние породы.

- Вершинное плато, покрытое рыхлыми осадками
- Верхняя пологая часть склона
- Крутая часть склона
- Нижняя часть склона и котловина, покрытые рыхлыми осадками
- Область распространения руд
- 5000 Глубина, м



лада о готовности к погружению экипаж получает разрешение на спуск, и аппарат, выпустив воздух из цистерн, скрывается под водой.

Он «тонет» со скоростью 15—20 м/мин, около двух часов уходит на весь путь до дна. За это время аппарат будет сносить глубинными течениями, и экипаж, пользуясь эхолотом и гидролока-

тором, корректирует процесс погружения, чтобы посадить аппарат на грунт на 2000-метровой изобате.

За бортом быстро темнеет, и через 20 мин наступает полная темнота. Заборные светильники выключены — для экономии электроэнергии, которая еще понадобится на геологическом маршруте. Они включаются, когда до конечной точки оста-



ется 150—100 м, и экипаж начинает уменьшать скорость погружения. Аппарат должен подойти к грунту с нулевой вертикальной скоростью — так требуют правила безопасности. Уже отчетливо виден склон, покрытый песком с отдельными глыбами коренных пород. Развернув «Пайсис» носом против течения, командир подводит его к ближайшей площадке и сажает лыжами на грунт. Место посадки уточняется с помощью гидроакустических средств с судна и, отметив на карте переданные с поверхности координаты начала маршрута, экипаж начинает движение заданным курсом, держа путь от 2000-метровой изобаты к вершине подводной горы.

Аппарат поднимается вверх по склону так, чтобы грунт проплывал в 1—3 м от иллюминаторов. В этом случае визуальный осмотр достаточно эффективен, кроме того, при необходимости можно вести видеозапись в цветном изображении и фотографировать наиболее важные геологические объекты.

В необходимых местах отбираются образцы пород, рыхлых донных осадков или пробы придонной морской воды. Каждая проба «привязывается» к глубине, и место ее отбора отмечается на карте.

Геолог-наблюдатель, находясь в совершенно необычных, неземных условиях, «идет» по геологическому маршруту с помощью подводного аппарата и его экипажа почти так же, как он привык это делать на суше, не считая того, что на иллюминатор, через который он определяет породу, давит вода с силой около 100 т.

Через 5—6 ч маршрут закончен, аппарат вышел на вершину, а бункер заполнен геологическими образцами. Можно всплывать.

Несколько таких маршрутов на различных склонах подводной горы, и становится ясным, как распределяется рудная корка, какова ее толщина, как она залегает и взаимодействует с окружающими породами.

Работы по обследованию подводных гор с борта обитаемых аппаратов проводились в различных районах Мирового океана, однако наиболее представительные материалы были получены в конце 1984 г. в 9-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в Тихом океане. В этом рейсе были обследованы две плосковершинные горы, входящие в систему Магеллановых гор, расположенных в Восточно-Маринанской котловине.

## СТРОЕНИЕ ГАЙОТОВ

Такие горы в геологии принято именовать гайотами. Один из них гайот Ита-Майтаи имеет форму усеченного конуса и поднимается над окружающим пространством Восточно-Маринанской впадины с глубиной, превышающих 6000 м. Его вершина располагается на глубине 1400 м.

Второй, обнаруженный именно в 9-м рейсе и названный нами гайотом Института океанологии Академии наук СССР (ИОАН), также возвышается над котловиной более чем на 4500 м. Гайот имеет неправильную форму, его более пологие склоны усложнены многочисленными небольшими поднятиями.

Обе горы формируют четыре одинаковых комплекса пород.

Ядром горы, ее цоколем, являются вулканические породы. В нижней части горы они образовались в результате излияния лав на поверхность дна в подводных условиях, вверху — при наземных извержениях, когда вулкан поднялся над уровнем моря. Возраст вулканической постройки — ранний мел.

Второй комплекс — продукты разрушения вулканических пород (брекчии, конгломераты, песчаники). На склонах гор эти породы заполняют понижения рельефа, реже формируют протяженный склон. Зато у подошвы склона и на прилегающих частях глубоководных котловин они образуют мощные слои, которые при удалении от горы становятся более тонкими. Основной осадочный материал этих пород образуется в результате разрушения надводной части вулканической горы. Коническая вершина вулкана при этом превращается в относительно выровненную поверхность.

Формирование третьего комплекса пород связано с погружением выровненной эрозией вершины горы в воду. В мелководных условиях пышно развивается донная жизнь. Часто по краям выровненной вершины вырастают рифы, отгораживающие центральную лагуну от окружающего океанического пространства. Поэтому на вершине такой горы накапливаются специфические лагунные осадки, а на склонах — продукты разрушения рифов. Возраст этих образований — среднемиеловой. В условиях мелководья эти осадки цементируются, превращаясь в очень крепкие породы. В некоторых случаях (гайот Ита-Майтаи) они образуют массивную покрывку толщиной в несколько десятков метров.

Следующий, четвертый комплекс

формируется уже в относительно глубоководных условиях. Это рыхлые осадки, сложенные скелетными остатками планктона. На поверхности гор они распространены крайне неравномерно. Выровненное вершинное плато покрыто чехлом осадков мощностью до 100 м. С огромных пространств верхней части склона (1500—3000 м), где действуют мощные донные течения, рыхлый осадочный материал сносится на большие глубины, отлагаясь на склонах и у подножья гор.

### КОРКИ И КОНКРЕЦИИ

Исследования с подводных обитаемых аппаратов и геологическое картирование показали, что основная область распространения рудных корок и железо-марганцевых конкреций на гайотах — слабо наклоненные поверхности верхней части склона на глубине от 1500 до 2000 м, лишённые рыхлых осадков. Именно в этом диапазоне глубин работали «Пайсисы», а глубже, куда не могли заглянуть подводные аппараты, с помощью дистанционной фотоустановки были сделаны фоторазрезы — сотни фотографий склона на глубинах от 4000 до 2000 м.

На вершинном плато, покрытом рыхлыми осадками, корки и конкреции отсутствуют. В интервале глубин 2000—2500 м они встречаются только на отдельных поднятиях, на которых отсутствуют осадки. Глубже 2500 м корок нет.

Уже в первых погружениях гидронавты увидели на пологих склонах гайотов совершенно необычный ландшафт. Вся поверхность дна покрыта почти непрерывным чехлом черных рудных корок толщиной более 15 см. В тех случаях, когда корки залегают на пласте осадочных пород, их поверхность достаточно ровная, если же корки покрывают вулканические обломки, то образуется что-то похожее на булыжную мостовую.

Под корками залегают породы, образовавшиеся более 60 млн лет назад. За это время на поверхности прилегающих к гайотам глубоководных впадин накопились осадки толщиной в несколько сотен метров. Весь осадочный материал, поступающий на склон, кроме ничтожной его части, задерживающейся в углублениях бугорчатого микрорельефа поверхности, сбрасывается донными течениями вниз по склону. При движении подводного аппарата почти постоянно ощущается его снос донными течениями. О их существовании свидетельствуют и донные организмы, которые за-

селяют эту область склона. Это преимущественно сестонофаги, отфильтровывающие пищу из воды. Ориентировка фильтрующих органов этих животных также говорит о наличии интенсивных течений.

При погружениях аппарата в области распространения рудных корок обнаружены узкие, протяженные, иногда ветвящиеся «промоины» с вертикальными стенками высотой до 15—20 см. Они «прорезают» рудную корку, однако в их стенках не обнаружено выходов пород, на которых покоится рудная корка. Само ложе промоины также покрыто рудной коркой. По-видимому, в моменты ослабления донной циркуляции промоины заполнялись рыхлыми осадками и корки на них не росли, при усилении донных течений обнажался подстилающий твердый субстрат, на котором осаждались окисные минералы железа и марганца.

Среди фораминиферового песка, заполняющего промоины, концентрируется губковый «хвост» — палковидные обломки губок. При этом живые губки здесь достаточно редки. По-видимому, скопление остатков свидетельствует скорее о концентрации их донными течениями.

В промоинах обнаружены железо-марганцевые конкреции, чаще всего они располагаются у стенок, и их размер более 30 см в диаметре. Реже встречаются мелкие конкреции, размером до 1—2 см, равномерно покрывающие всю «промоину». Конкреции располагаются как на осадке, так и на твердом субстрате. Это важно подчеркнуть, ибо конкреции могут расти только в рыхлом осадке. Отсутствие его под конкрецией свидетельствует о том, что осадок был вымыт донными течениями.

Рудные корки и конкреции отобраны манипулятором подводного аппарата и подняты на борт судна. Корки представляют собой слоистые образования, в которых можно четко выделить три горизонта. Верхний сложен черной сажистой массой, состоящей в основном из окислов и гидроксидов железа и марганца. Поверхность этого горизонта мелкобугорчатая, в углублениях между бугорками сохранился белый фораминиферовый песок. Возраст верхнего горизонта, определенный по остаткам фораминифер, 0—5 млн лет. Второй горизонт, возрастом 5—8,5 млн лет, — бурый, пятнистый. В его составе, наряду с окислами и гидроокислами железа и марганца, присутствует небольшое количество (до 5 %) карбоната кальция, представленного скелетными остатками планктона и



Поверхность железо-марганцевой корки. Гайот ИОАН, глубина 1600 м.

Бугорчатый (каракулевый) характер поверхности корки, покрывающей вулканические породы. Гайот ИОАН, глубина 1640 м.

Рудная корка, рассеченная промнами. В них, на тонком слое осадка, формируются конкреции. Гайот Ита-Майтаи, глубина 1560 м.

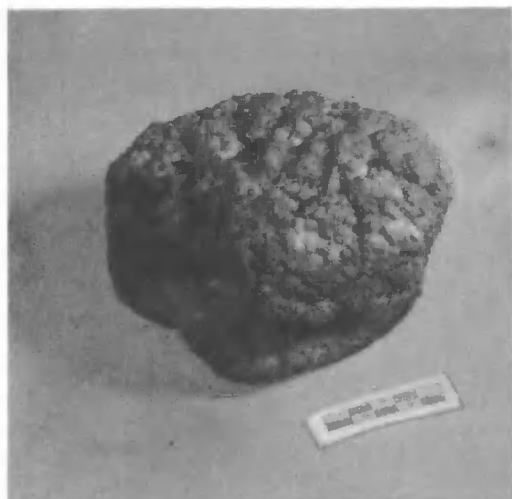
В промнине корки — многочисленные конкреции, одна из которых заведена манипулятором аппарата. Гайот ИОАН, глубина 1680 м.

Конкреции размером до 40 см в поперечнике на плейстоценовом фораминиферовом песке. Гайот ИОАН, глубина 1685 м.









Рудная корка со склона гайота Ита-Майтан (вверху слева). Конкреция со склона Ита-Майтан (вверху справа). Верхняя поверхность конкреции с гайота Ита-Майтан (внизу слева). Нижняя поверхность конкреции с гайота ИОАН (внизу справа).

фосфата. Самый нижний и, соответственно, самый древний горизонт (8,5—19,5 млн лет) представлен черной антрацитоподобной массой окислов и гидроокислов железа и марганца.

Конкреции в большинстве случаев имеют асимметричное строение. Вокруг ядра, представленного обломками осадочных и вулканических пород, расположена черная антрацитоподобная масса. Она составляет всю нижнюю часть конкреции и самый близкий к ядру горизонт верхней части. На верхней части выделяется еще два горизонта: средний бурый, пятнистый и верхний черный, сажистый. Они отсутствуют на нижних сторонах конкреций.

Иными словами, горизонты верхней части конкреции полностью отождествляются с горизонтами рудных корок. Верхняя поверхность конкреций, как и корок, имеет микробугорчатый рельеф, нижняя — гладкая. Можно полагать, что конкреция сверху наращивалась так же, как корка, а нижняя часть — только в самый начальный период образования конкреции. Тонкая пленка железо-марганцевых окислов и гидроокислов толщиной в несколько миллиметров обволакивает сверху всю конкрецию и свидетельствует о том, что в самое последнее время конкреция вновь стала наращиваться одновременно во все стороны.

По составу железо-марганцевые корки и конкреции подводных гор близки к глубоководным железо-марганцевым конкрециям (см. табл.). Они состоят из рудной фазы, представленной окислами и гидроокислами железа и марганца, и нерудной части, сложенной преимущественно силикатами, а также биогенным карбонатом кальция и фосфатами, которые в основном кон-



## Химический состав рудных отложений гайотов и глубоководных гор, %

Элемент	Железо-марганцевые корки и конкреции гайотов		Глубоководные конкреции Тихого океана*
	Ита-Майтаи	ИОАН	
Fe	13,43	12,67	11,4
Mn	18,61	17,83	20,1
Al	0,89	0,87	2,75
Si	3,74	4,45	7,62
Co	0,401	0,402	0,270
Ni	0,456	0,429	0,760
Cu	0,101	0,094	0,540
Zn	0,082	0,072	0,120

\* По данным В. Маккенвее и др., 1983 г.

центрируются в среднем горизонте корок и верхних частях конкреций.

По сравнению с глубоководными (пелагическими) конкрециями Тихого океана железо-марганцевые руды подводных гор существенно обеднены алюминием и кремнием и обогащены железом и марганцем.

Микроэлементы в железо-марганцевых рудах самостоятельных минеральных фаз не образуют и входят в окисные минералы железа и марганца. В рудном веществе корок подводных гор и пелагических железо-марганцевых конкреций суммы содержания рудных микроэлементов (Co, Ni, Cu) очень близки. Однако если в конкрециях эти микроэлементы присутствуют примерно в равных количествах, то руды подводных гор существенно обогащены кобальтом и никелем относительно меди. Особенно следует подчеркнуть высокие содержания кобальта в рудах гайотов. В целом ряде образцов концентрации этого элемента превышают 1%. Поэтому многие исследователи считают эти образования наиболее перспективными океаническими кобальтовыми рудами будущего.

### ПРОИСХОЖДЕНИЕ РУД

Условия залегания железо-марганцевых руд подводных гор, их строение и состав, изученный по образцам, поднятым на борт судна подводными аппаратами, однозначно указывают на их осадочное происхождение. Никаких фактов, которые свидетельствовали бы о связи этих руд с вулканизмом и гидротермальной деятельностью, при детальном изучении обнаружено не было.

В настоящее время существует много гипотез о происхождении осадочных железо-марганцевых руд океана. По нашему мнению, наиболее правдоподобна гипотеза

исследователей из ФРГ П. Гальбаха и Д. Путеануса. Они полагают, что основным источником железа в корках — карбонатные скелетные остатки планктонных организмов. Растворяясь на поверхности дна, они освобождают рудный элемент в форме гидроокиси. Накопление железа — начальное звено в формировании руд. Мельчайшие частицы гидроокисей железа окисляют на своей поверхности растворенную в океанической воде закись марганца, затем рудное вещество формирующихся железо-марганцевых корок и конкреций обогащается кобальтом, никелем и медью, переходящих в твердую фазу из окружающей воды.

Если справедливы эти представления, то руды должны образоваться в водах, насыщенными карбонатом кальция и поэтому интенсивно растворяющих биогенный карбонатный материал.

Главная роль в современном накоплении карбонатов принадлежит планктонным организмам: фораминиферам, кокколитофоридам и птероподам. Максимальная концентрация этих организмов в водной толще приурочена к верхним 200 м, где образуется основная масса биогенного карбонатного материала, в котором «запечатываются» рудные элементы, и прежде всего железо. Однако концентрирование этих элементов возможно при их освобождении от носителя, т. е. карбонатного материала.

Обычно считают, что наиболее интенсивно карбонат кальция растворяется на глубине более 4000 м. Однако в настоящее время установлено, что на глубине от 600 до 2000 м существует слой воды, в котором содержится большое количество углекислого газа и ничтожное количество кислорода. Образование этого слоя кислородного минимума связано с тем, что именно на этих глубинах разлагается основная масса

органического вещества. Здесь также идет интенсивное растворение карбоната. По нашим подсчетам, даже на глубине 2500 м в донных осадках сохраняется только 50 % биогенного карбоната, созданного планктоном. При этом растворяются почти все скелетные остатки, сложенные карбонатом в форме минерала арагонита. Такой скелет имеют птероподы.

Еще одно подтверждение предположения, что руды гайотов образовались на глубинах до 2000 м в слое кислородного минимума, — их обогащенность по сравнению с глубоководными конкрециями кобальтом. Именно этот элемент интенсивно извлекается планктоном, а затем при его разложении в слое кислородного минимума возвращается в воду.

Металлы могут концентрироваться при условии, что нерудные компоненты (тончайшие частицы глинистых и обломочных минералов, нерастворимые скелетные остатки организмов планктона) будут отсортировываться от грубых карбонатных частиц и выноситься за пределы области накопления руды. По нашим материалам, такие условия создаются, если у дна существуют течения со скоростями 3—30 м/с.

Лучше всего растут корки, когда микробугорчатая поверхность лишена осадочного покрова, а карбонатный (фораминиферовый) песок задерживается только в углублениях между бугорками.

В промоях, где распространены конкреции, скорости донных течений меньше. В отдельные этапы накопления руды здесь сохранялся тонкий слой донных осадков. Именно в эти этапы конкреции наращивались с нижних сторон. При усилении донной циркуляции осадочный покров в промоях полностью размывался и рост конкреций снизу прекращался.

Исследованные нами подводные горы когда-то представляли собой океанические острова и двигались вместе с литосферными плитами. По мере «старения» участка плиты, на которой они покоятся, они погружались иногда на глубину более 1 км. Можно предположить, что значительные площади склонов этих гор при погружении пересекали слой кислородного минимума, в котором происходит формирование руд. Возникает вопрос, был ли процесс накопления рудного вещества непрерывным на протяжении всей истории океана?

По нашим определениям, начало роста рудных корок гайотов Ита-Майтаи и ИОАН относится к среднему миоцену (18,5—19,5 млн лет назад). Мы предполагаем, что начало роста связано с тем, что

в среднем миоцене из-за климатических изменений резко усилилась продуктивность океана и сформировался слой кислородного минимума, который сохраняется и в наше время.

Наиболее подробно изучены климатические изменения в последние 150 млн лет геологической истории, для которых характерно общее прогрессирующее похолодание. Этот интервал времени можно разбить на три этапа. В первый этап, завершившийся примерно 45 млн лет назад, океан был достаточно теплым. В течение второго этапа (от 45 до 20 млн лет назад) сформировался ледник, покрывающий Антарктиду. На протяжении этих двух этапов слой кислородного минимума мог существовать только в пределах высокопродуктивных зон океана. 20 млн лет назад начался новый ледниковый период. С ним связано усиление перемешивания и увеличение биопродуктивности океанических вод, образование современного слоя кислородного минимума и начало повсеместного формирования руд на подводных горах.

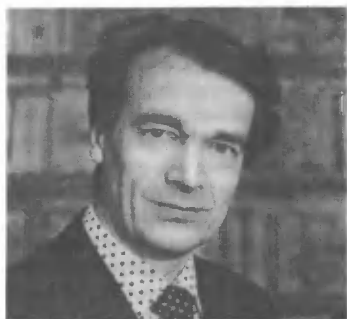
На подводных горах Лайн и Маркус-Неккер обнаружены железо-марганцевые корки более раннего возраста. Имеются такие корки и на изученных нами гайотах Ита-Майтаи и ИОАН. Они могли образоваться только в пределах высокопродуктивной зоны, где существовал слой кислородного минимума. Иначе говоря, эти рудные корки образовались во время пересечения подводной горой экваториальной зоны, где биопродуктивность была высока на протяжении более 100 млн лет.

Таким образом, возможность образования железо-марганцевых руд на подводных горах обуславливается целым рядом независимых факторов: это и наличие пологих участков склона, и благоприятные условия циркуляции придонных вод, и нахождение области накопления руды на глубине 600—2000 м именно в то время, когда в водной толще на этих глубинах существовал устойчивый слой кислородного минимума, и т. д.

Другими словами, образование рудных залежей зависит от геологической истории подводных гор, а знание истории различных участков океанического дна позволяет заранее планировать поиски подводных гор, хранящих запасы железо-марганцевых руд.

## Компьютер в исследовании и сочинении музыки

Р. Х. Зарипов



Рудольф Хафизович Зарипов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Вычислительного центра АН СССР. Специалист в области искусственного интеллекта. Основные интересы — моделирование творческих процессов на ЭВМ. Автор монографий: Кибернетика и музыка. М., 1971; Машинный поиск вариантов при моделировании творческого процесса. М., 1983. В «Природе» опубликовал статью: Вариации на тему «Уральских напевов» (1984, № 7—9).

В телепередаче, посвященной 40-летию кинофильма «Два бойца», композитор Н. В. Богословский вспоминал, как для героя фильма — одессита — он сочинял ставшую популярной песню «Шаланды, полные кефали». Чтобы написать мелодию в веселом одесском уличном стиле, в студию (это было в Ташкенте в 1942 г.) пригласили коренных одесситов. «И все они два дня пели наперебой всевозможные типично одесские песни». В результате такого «погружения» в одесские мелодии композитор, «сплавив» потом характерные обороты и интонации, написал «Шаланды» — «песню вполне самостоятельную».

Композиторы не любят рассказывать о своих творческих секретах, закрываются многозначительными словами «озарение», «муки творчества», «порыв вдохновения», утверждают обычно, что никакого бессознательного заимствования нет, а бывает лишь осознанное использование известных тем в сочиняемой музыке. И на этом фоне признание Н. В. Богословского вызывает особый интерес: в нем композитор раскрывает один из «методов» сочинения мелодии, противоречащий расхожим представлениям.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТВОРЧЕСТВА

Изучение интуитивных, глубинных процессов мышления в научном и худо-

жественном творчестве давно привлекает исследователей. Одним из методов исследования таких процессов является моделирование. Для искусственного воспроизведения интересующих ученого свойств объекта-оригинала на доступном для наблюдения и изучения объекте оно использовалось с древнейших времен. Идея моделирования проста и заключается в том, чтобы по результатам экспериментов на искусственной модели судить о естественных процессах. Известны разные виды моделей — аналоговые физические системы (устройства, установки), математические формализмы, отражающие существенные свойства или характеристики изучаемого объекта, процесса или явления, и т. д. В настоящее время получило большое распространение создание моделей на ЭВМ.

В самом начале статьи был дан пример того, как через «погружение» композитор может как бы формировать модель для имитации музыки определенного стиля. Однако такого рода — субъективное — моделирование, являясь творческим приемом, распространенным в композиторской практике (вспомним хотя бы, как сочинялись «Арагонская хота» М. И. Глинкой или «Итальянское каприччио» П. И. Чайковским), не вскрывает закономерностей структуры исследуемого объекта и не дает нам научного знания о творческом процессе.

Первоначальные знания об объекте исследования (в частности, о музыкальном произведении или процессе его создания) приобретаются при анализе. Затем на этой основе могут строиться так называемые статические модели. В них выявляются элементы объекта и производится статистическая обработка наблюдаемых данных, например определяется, как часто встречается в музыкальном произведении тот или иной элемент. Обнаруживаемые при анализе структуры отражают некую закономерность, которая характеризует скрытые (неосознаваемые) стилевые или видовые особенности мышления композитора.

Однако многие существенные стороны объекта не поддаются непосредственному наблюдению, и статические модели вследствие этого не могут обеспечить решение многих проблем исследования. Так, от данных, отраженных в моделях этого типа, невозможно перейти к выявлению структуры алгоритма, их порождающего. И исследователь создает лишь гипотетическое представление о механизме порождения объекта исследования. На этом многие традиционные исследования (например, в музыковедении) прекращаются. Но сколь бы «очевидной» или «правдоподобной» ни была гипотеза, требуется ее подтверждение в эксперименте. Одним из методов подтверждения гипотез является моделирование на ЭВМ.

Присущие творчеству закономерности мышления и восприятия изучаются методами моделирования на ЭВМ в рамках проблемы искусственного интеллекта. Основная задача моделирования творчества состоит в выявлении и формализации тех общих закономерностей, которые человек использует неосознанно, интуитивно. Поэтому целесообразно исследовать такие примеры, когда человек находит решение проблемы «легко и просто», как бы сразу, путем «озарения», не задумываясь, какие правила при этом используются. Подобным условиям вполне удовлетворяет сочинение мелодии — наиболее неосознаваемого элемента музыкального творчества. Заметим, что проблемы, на решении которых человек не фиксирует своего внимания, обычно вызывают иллюзию легкости их машинного воспроизведения. На самом деле при их моделировании возникают наибольшие, принципиальные трудности. Кстати, эти трудности привели к тому, что зарубежные исследователи перешли от идеи моделирования традиционной музыки к идее синтезирования музыки новых, нетра-

диционных структур (авангардистской музыки) — ведь для этого не нужно выявлять скрытые от личности, глубинные закономерности.

### АЛГОРИТМИЗАЦИЯ МУЗЫКАЛЬНОГО СОЧИНЕНИЯ

Как устроена машинная программа, порождающая музыку? Как в самых общих чертах происходит синтезирование композиции на ЭВМ?

Датчик случайных чисел — закодированных нот — предлагает одну ноту за другой. Каждая из них как бы пропускается через фильтр, которым служит набор запрограммированных правил композиций (или база знаний — по терминологии специалистов в области искусственного интеллекта)<sup>1</sup>. Если нота удовлетворяет этому набору, она помещается в нотную строку, если нет — отбрасывается, а вместо нее предлагается другая. И так до тех пор, пока не будет получена законченная композиция, которую можно отпечатать на бумаге или воспроизвести в звуке. Это общий принцип, используемый во всех программах, «сочиняющих музыку» на ЭВМ, а также во всех машинных «моделях творчества». А различаются программы «всего лишь» набором правил — фильтром, который определяет эффективность модели и качество результатов.

Важный этап моделирования, значение которого недооценивается многими исследователями, — оценка машинных результатов: именно здесь устанавливается степень сходства машинных и человеческих результатов. Она, до настоящего времени, является единственным критерием совершенства алгоритма, правильности заложенных принципов, а также того, достаточно ли тех сведений, или знаний, которыми снабжена программа, для воспроизведения изучаемого объекта.

Музыкальная композиция характеризуется некоторым набором параметров, отражающих ее закономерности. Параметром может быть диапазон мелодии, тактовый размер, распределение частот интервалов в мелодии, количество ступеней в октаве и т. д. Каждый параметр принимает по нескольку значений. Ими являются: определенное число или числовая структура; конкретный закон распределе-

<sup>1</sup> Подробнее о базах знаний см.: Поспелов Д. А. Вычислительные машины становятся интеллектуальными // Природа. 1985. № 4. С. 28—39.

ния частот интервала; набор аккордов и т. п. Под типом композиции понимается ее качественная характеристика — определенный признак или особенность (стиль, жанр, эмоциональная направленность), присущие некоторой совокупности композиций, например «танцевальная музыка», «вальс», «напевность».

Моделирование некоторого типа композиций основано на предположении, что любой тип  $T$  характеризуется определенным набором значений параметров  $M$ . В соответствии с этим, качественной характеристике (типа  $T$ ) отвечает некоторая типовая структура (фрейм), или формально-количественная характеристика (набор  $M$ )<sup>2</sup>. Покажем, как набор  $M$  связан с программой, порождающей определенный тип композиций. Программа включает в себя множество значений параметров — формализованных закономерностей и средств композиции. А набор  $M$  перечисляет лишь некоторое подмножество его, так как для каждого параметра указано лишь одно его значение. Если значения не заданы, они выбираются случайным образом. Этим и определяются закономерности, которыми формируется (автоматически) программа.

Таким образом, каждый раз в процессе синтеза композиции участвуют не все запрограммированные закономерности, а лишь их часть, указанная набором  $M$ , который и служит фильтром, о котором говорилось выше. Этот набор (фильтр) можно составлять по-разному, и каждому соответствует определенный тип композиции, т. е. по одной и той же программе можно синтезировать композиции разных типов, вызывающих у слушателей, вообще говоря, разное эмоциональное впечатление. Вместе с машинной композицией печатается и перечень закономерностей  $M$ , т. е. указывается ее структура. Это в принципе позволяет решить традиционную проблему искусствоведения и психологии восприятия — найти зависимость между структурой музыки и ее воздействием на эмоциональное состояние слушателей.

Число разных композиций зависит от ограничений, накладываемых на очередную композицию. При слабых ограничениях их может быть бесчисленное множество, при жестких — это число уменьшается до единиц. Может даже получиться заранее известная мелодия, если точно описать ее характеристики в рамках возможностей

программы. Так была синтезирована машинная мелодия, полностью совпадающая с «Молодежкой» И. О. Дунаевского из кинофильма «Волга — Волга», что подтвердило предположения о механизме порождения мелодий массовой песни. Они имеют довольно стабильную структуру уже на протяжении нескольких веков и относительно небольшое число основных характерных элементов. Комбинирование элементов позволяет сочинить разнообразные по стилю, эмоциональной окраске мелодии, которые при этом обладают важным для массовых песен качеством — общедоступностью музыкального языка (в отличие, скажем, от симфонической музыки). Есть основание полагать, что при моделировании песенных мелодий (разумеется, в рамках заданного жанра и определенных музыкально-стилистических черт) уже теперь машина может быть серьезным «соперником» композиторов-песенников, работающих в жанрах массовой песни. Многие композиторы это понимают, чем и вызваны, по-видимому, их стихийные протесты против машинной музыки.

## ЗАИМСТВОВАНИЕ В МУЗЫКЕ

В первых программах машинная мелодия синтезировалась из отдельных звуков по выявленным закономерностям<sup>3</sup>. Наибольшая трудность заключалась в получении благозвучных мелодических оборотов. Дальнейшие исследования обнаружили путь преодоления этой трудности, вероятно, типичный при моделировании разных видов творческой деятельности человека.

Дело в том, что в таких исследованиях необходимо учитывать следующее: человек оперирует понятиями (представлениями), которые являются более крупными блоками, чем простейшие элементы, обнаруживающиеся непосредственно при анализе. В музыкальном творчестве такими представлениями являются интонации (мелодические обороты, или попевок), а простейшим элементом может быть звук или его компоненты — высота, длительность, а также интервал между соседними звуками.

Как уже говорилось, мелодия — наименее осознаваемый элемент композиции, и ее фрагменты как бы сразу возникают в сознании композитора. Анализ мелодий (прежде всего вокальных) показывает, что существенным элементом творчества является заимствование интонаций

<sup>2</sup> Описание фреймов дается в вышеуказанной статье Д. А. Поспелова.

<sup>3</sup> См.: Зарипов Р. Х. Кибернетика и музыка. М., 1971.







Развитие идеи механических музыкальных инструментов. Золота арфа (вверху на с. 62) — прообраз музыкальных автоматов, известный с глубокой древности. Ветер, проникая в щели ящика, колеблет натянутые внутри него струны или столб воздуха в трубках.

Первые сведения о механических музыкальных инструментах появились в начале XVII в. О них, например, пишет Атанасиус Кирхер в книге 1650 г. "Musurgia universalis" («Универсальная музыка»). То были пневматические органы с тяжелыми деревянными валами со шпильками, зацеплявшими шедшие к клапанам тяжки.

Ноты — это алгоритм, или программа действий, для музыканта. Но и не умеющий играть человек может «запрограммировать» исполнение произведения на музыкальном автомате. Для этого нотная партитура «набирается» на цилиндрах или валах со штифтами, металлических дисках с отверстиями, перфорированных бумажных лентах и т. п. — носителях нотного текста. Расположенные в определенном порядке, эти штифты или отверстия при движении приводят в действие соответствующий источник звука — органную трубку, струну, язычок-зубец металлической «гребенки», язычок пневматических инструментов типа гармони, клавишу пианино, барабанную палочку и т. п. Так, в музыкальной шкатулке штифты на металлическом цилиндрическом валике заставляют звучать металлические язычки — зубья металлической «гребенки», а в некоторых образцах — колокольцы и барабанчик.

В музыкальном ящике начала XX в. «Фортуна» (внизу на с. 62) штифты на металлическом диске приводят в действие язычково-щипковый звучащий механизм.

Сочетание способов звукоизвлечения привело к созданию разнообразных и весьма остроумных музыкальных автоматов, оформленных в виде флейтиста, поющей птички, играющей на фисгармонии музыкантши, музыкальных табакерок или вщиков, часов и т. п. Некоторые из них можно увидеть в интересной экспозиции отдела автоматики Политехнического музея в Москве. В механической приставке к пианино начала XX в. — лианоле — мелодия кодируется на бумажной перфорированной ленте. Через отверстия в ленте всасывается воздух, действуя на определенные «пальцы» — рычаги, ударяющие по соответствующим клавишам пианино. Технические идеи, положенные в основу музыкальных автоматов (например, автоматов с программными кулачковыми механизмами или бумажными перфорированными лентами), широко использовались в многочисленных устройствах.

Изображенные здесь музыкальные инструменты находятся в экспозиции Государственного центрального музея музыкальной культуры имени М. И. Глинки в Москве.

Музыкальный компьютер (вверху) — новейший музыкальный инструмент с электронным синтезатором звука и электронной памятью, позволяющими запоминать и воспроизводить импровизации композитора, а также печатать их в нотном виде. Кроме того, он — как и любой музыкальный автомат — может играть по введенным в него нотам.

из ранее слышанных произведений — иногда довольно большой протяженности.

Займствование и «творческая обработка» (варьирование или трансформация, сопровождающаяся вводом новых, маскирующих элементов) — это две глобальные, или универсальные, процедуры, лежащие в основе любой творческой деятельности. Суть «творческой обработки» состоит в преобразовании описания заданной (займствованной) ситуации с сохранением ее инварианта (фрейма-классификатора). Трансформация эта происходит неосознанно, и человек не фиксирует на этой процедуре свое внимание, что и представляет основную трудность для ее обнаружения и формализации. Так возникает неосознанное подражание в поэзии и беллетристике, заимствования в музыке и живописи, переформулировки в научных результатах. Процедура варьирования тесно связана с тем, что мы обычно называем рассуждениями по аналогии, ассоциативным мышлением, навязыванием некоторого ритма или музыкальной темы<sup>4</sup>. Путем машинной имитации удалось вскрыть сущность «творческой обработки», формализовать эту процедуру и объяснить многие феномены, присутствующие творческой деятельности человека, в частности показать механизм преобразования темы в вариацию на примере трансформации мелодии русской народной песни «По Дону гуляет казак молодой» в мелодию «Молодежной» И. О. Дунаевского<sup>5</sup>.

В связи с этим можно привести много конкретных примеров из разных областей человеческой деятельности. И во всех случаях трансформация первоначальной ситуации проходит схожим образом — сохраняется некоторый инвариант и вводятся маскирующие элементы.

Обратимся, например, к литературе. Примером приведенной выше схемы варьирования служит художественный перевод. Переводчик стремится максимально сохранить оригинальную структуру, стиль и содержание авторского сочинения, но он невольно и неизбежно привнесит в перевод свой индивидуальный стиль мышления и выражения своих мыслей. Достаточно сравнить между собой несколько переводов одного и того же произведения, чтобы ощутить различие. С наибольшей нагляд-

ностью проявляется схема варьирования у талантливых пародистов: они четко вычлениают наиболее важные параметры и в своих выступлениях имитируют стиль и манеру пародируемого автора.

Однако творец — будь то композитор или поэт — не осознает глубинный механизм варьирования. Машинное же варьирование позволяет шаг за шагом проследить весь путь преобразования, показывая его промежуточные этапы.

В композиторской практике значительно чаще встречаются случаи заимствования не целой мелодии, а ее фрагментов разной протяженности. Свообразным хранилищем интонаций для такого заимствования являются мелодии народных песен. В этом смысле примечательно высказывание, приписываемое М. И. Глинке: «Создает музыку народ, а мы, художники, только ее аранжируем». Еще в глубокой древности, задолго до изобретения принятой теперь нотации (системы нотной записи), создавались основные элементы музыки — попевки, или интонации, которые переходили из поколения в поколение вместе с народными песнями, а затем уже стали использоваться и в профессиональной музыке.

Исследования показали, что заимствование интонаций из «интонационной памяти» осуществляется не путем цитирования конкретных интонаций, а посредством их варьирования — трансформации разных сторон мелодии: ритма, лада, регистра, интервальных отношений и т. п. Однако при этом сохраняется их полиинвариантная структура, которая является носителем образа сходных между собой на слух, но на самом деле разных интонаций<sup>6</sup>. С учетом этого можно сказать, что заимствуется не интонация, а ее образ, выражаемый определенной структурой, — некое обобщенное представление интонации.

Инвариантом — носителем образа разных интонаций, воспринимающихся на слух как сходные, является интервально-метрическая структура  $p$ -нотной интонации  $S^l = S^1 | S^2 |^2 \dots S^{n-1} |^{n-1}$ , где  $l$  — интервал, определяемый числом ступеней между высотами соседних звуков ( $l=0$  — прима,  $l=1$  — секунда,  $l=2$  — терция и т. д.), а  $S$  — двунотная стопа, вычисляемая по соответствующей процедуре и принимающая два значения:  $+$  или  $-$ . При  $S=+$  образуется хорейческая стопа от сильной ноты к

<sup>4</sup> См.: Поспелов Д. А. Предисловие // Зарипов Р. Х. Машинный поиск вариантов при моделировании творческого процесса. М., 1983. С. 5—8.

<sup>5</sup> Зарипов Р. Х. Машинный поиск вариантов при моделировании творческого процесса. М., 1983.

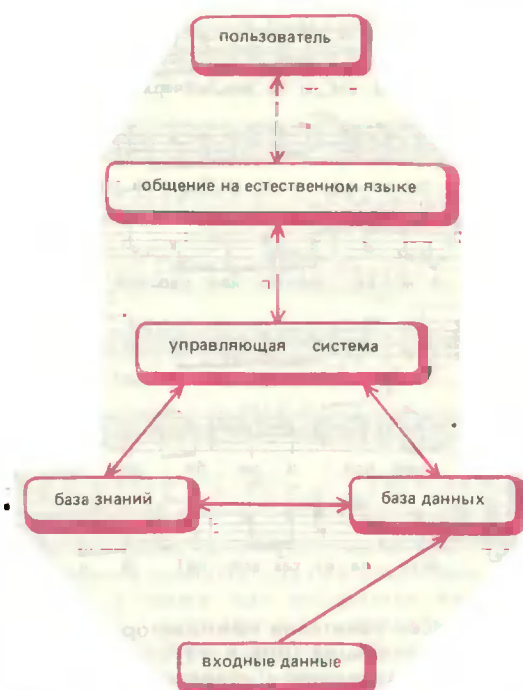
<sup>6</sup> См.: Зарипов Р. Х. Построение частотных словарей музыкальных интонаций для анализа моделирования мелодий // Проблемы кибернетики. Вып. 41. М., 1984. С. 207—252.

слабой, а при  $S=$  — ямбическая, от слабой ноты к сильной.

Проблема интонаций — одна из основных в теоретическом музыковедении, и ее исследованию посвящено огромное число работ, которые преимущественно носят описательный характер. В работах же (отечественных и зарубежных) по количественному анализу мелодий рассматривается лишь одна — звуковысотная составляющая (интервал  $I$ ) при  $p=2$ . И только с выводом формально определенной интервально-метрической структуры удалось эффективно поставить и конструктивно решить ряд интересных задач, которые до сих пор традиционно считаются невычислимыми.

Так, впервые в музыковедении построен частотный словарь интонаций, элементы которого — структуры  $S_i^n$  — упорядочены по частоте  $q_i$  ( $q_i \geq q_{i+1}$ ) встречаемости интонаций с одинаковой структурой в некотором массиве мелодий. Сравнение частотных словарей интонаций, построенных для разных массивов мелодий (разных музыкальных культур), показало устойчивое преобладание так называемых бытующих — наиболее распространенных интонаций в разных массивах. Частое употребление таких интонаций вызвано, по-видимому, как культурными, так и прежде всего природными, психофизиологическими, особенностями человеческого восприятия, вследствие чего эти интонации воспринимаются и исполняются голосом более естественно (и, следовательно, представляются более благозвучными), чем другие, которых композиторы невольно избегают. Предпочтение первых интонаций в творчестве композиторов вызвано психологически неосознаваемыми механизмами и не зависит от воли композитора<sup>7</sup>. Иначе говоря, композиторы-песенники не могут не использовать бытующие интонации, если хотят сочинить благозвучную, доходчивую мелодию для массовой песни, и заимствование этих интонаций просто неизбежно. Наиболее бытующие интонации располо-

Логично считать, что попевки, «удобные» в наше время, были «удобными» и в глубокой древности, задолго до изобретения принятой теперь нотации. В связи с этим можно использовать частотный словарь интонаций, составленный на основе современных песенных мелодий, для расшифровки древних музыкальных записей, сделанных крюками, хазами и т. п. знаками средневековой нотации (без точного обозначения высоты звуков). При сохранении инварианта — интервально-метрической структуры — в попевках естественно варьирование лада, ритма и регистра.



Взаимосвязь различных узлов рассматриваемой в статье программы «Композитор», представленной для наглядности в виде схемы экспертной системы. Входные данные — массив мелодий, вводимый в ЭВМ для анализа. База данных — алфавит [нотные знаки] и данные анализа мелодий [словарь интонаций]. База знаний — множество запрограммированных правил, перечнем которых является набор параметров [диапазон мелодии, тактовый размер, распределение частот интервалов в мелодии и т. д.]. Управляющая система (интерпретатор правил) формирует типовую структуру (фрейм) в соответствии с задаваемыми значениями параметров. В ней же происходит выбор элементов из базы данных и синтез мелодии. При взаимодействии правил, противоречащих друг другу в данном контексте, во избежание «зацикливания» система правил меняется автоматически. В блоке общения на естественном языке производится представление (распечатка) машинных результатов: мелодии с указанием ее параметров и комментариев (системы объяснений). Пользователь формирует тот или иной фрейм и выбирает режим работы.

жены в начале частотного словаря интонаций, а редко встречающиеся — в его конце. Существуют и такие теоретически возможные интонации, которых нет в словаре, составленном на основе песенных мелодий. В нем может не быть даже той интонации, которая служит «визитной карточкой» весьма известного профессионального произведения. Так, начало «Застольной» из оперы Дж. Верди «Травиата» безошибочно узнается по первым четверем или даже трем звукам, однако эта интонация ни разу не встретилась в мело-

Н. Н. Леви.  
Чапаевская  
По За\_вол\_по За\_вол\_ья черной ту\_чей, сте\_

М. И. Блантер.  
Катюша  
Вы\_хо\_ди\_ла на бе\_рег Ка\_тю\_ша, на

И. О. Дунаевский.  
Спой нам, ветер  
А ну\_ка пес\_ню нам про\_пой, ве\_се\_лый

М. И. Блантер.  
Солнце  
скрылось за гороу  
шли свой\_ны до\_мой со\_вет\_ски\_е сол\_

А. В. Александров.  
От края до края  
род\_ном и лю\_би\_мом пре\_крас\_

А. В. Александров.  
Священная война  
вски\_па\_ет, как вол\_на! И\_дет вой\_

Сходные по звучанию отрывки разных мелодий из сборника песен советских композиторов, обнаруженные с помощью ЭВМ.

дних песен советских композиторов среди 17 тыс. интонаций (при  $p=3$ )<sup>8</sup>.

Так выяснилась причина безуспешности моих попыток найти формулу благозвучности в первых программах для сочинения мелодий, где они порождались из отдельных нот. Такой формулы в общепринятом смысле просто вообще может не быть, поскольку благозвучие интонации — понятие не математическое.

Построение частотных словарей интонаций представляет определенный познавательный интерес, но не является самоцелью — более важны и привлекательны их практические приложения. Рассмотрим некоторые из них.

### ПОИСК И РАСПОЗНАВАНИЕ СХОДНЫХ ОТРЫВКОВ В МЕЛОДИЯХ

Использование интервально-метрической структуры  $SI^n$  и частотного словаря интонаций позволяет решить следующую традиционно невычислительную задачу: обнаружить в заданном массиве мелодий фрагменты любой протяженности, воспринимаемые на слух как сходные между собой. Здесь важно то, что такой поиск и распознавание сходных интонаций осуществляется формальным (алгоритмическим) способом, а не традиционно — по памяти и слуху. Это дает возможность решать вопрос либо о заимствовании (или цитировании) конкретного от-

рывка из какой-то одной мелодии, либо о простом использовании бытующих интонаций из разных мелодий. Заимствования ведь производятся не только из «народных» мелодий, но и из опубликованных мелодий песен современных композиторов, что нередко можно обнаружить даже в одном и том же сборнике песен. Благодаря свойствам  $SI$ -структуры, рассмотренным ранее, такой поиск возможен даже в случаях, когда интонации «замаскированы».

Так, в Институте математики СО АН СССР в Новосибирске по программе, разработанной И. В. Бахмутовой, В. Д. Гусевым и Т. Н. Титковой под руководством Н. Г. Загоруйко, в 216 мелодиях (17 тыс. нот) были выявлены сходные мелодические отрывки длиной в  $n$  нот ( $n=6, 7, \dots, 14$ ). Различных  $SI^n$ -структур оказалось 3045. Получить столь впечатляющий результат без помощи машины — только по памяти и слуху — практически невозможно: ведь обнаружены не тождественные отрывки мелодий (не цитаты), а лишь сходные по звучанию.

Описанный здесь способ эффективного поиска может оказаться практически полезным в работе музыковеда. Допустим, машина определила, что первые семь нот романса Г. В. Свиридова «Подъезжая под Ижоры» — это начало «Марсельезы» Р. де Лиля. Возможно, это простое совпадение или неосознанное использование бытующей интонации. Но анализируя эти мелодии уже без машины, видим одну и ту же ритмическую фигуру во 2-м такте пер-

<sup>8</sup> Мелодии брались из сб.: Русские песни. Песни советских композиторов. Вып. 3. Л., 1955.



## Позабыт, позаброшен

А. Пахмутова. Песня о тревожной молодости

Мелодии, порожденные машинной БЭСМ-6 Вычислительного центра АН СССР путем заимствования интонаций из массовых песен. Мелодии 1—3 получены методом «спогружения» в отрывки двух песен, приведенных в строке 0 (русская народная песня «Позабыт, позаброшен» и «Песня о тревожной молодости» А. Н. Пахмутовой). При прослушивании этих машинных и исходных мелодий обнаруживается сходство их интонаций, несмотря на видоизменение некоторых параметров (лад, регистр, ритм).

вой мелодии и в 3-м такте второй. Теперь уже крепнет уверенность, что одна из этих мелодий написана не без влияния другой.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЛОДИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНОГО СЛОВАРЯ ИНТОНАЦИЙ

Принципы построения мелодий, предлагаемые в данной статье, существенно отличаются от реализованных до сих пор в работах других авторов. В этих работах мелодии синтезировались из отдельных звуков по закономерностям, выявленным при анализе. Описываемый здесь способ основан на заимствовании интонаций из частотного словаря, как своеобразного аналога интонационной памяти композитора: и никакой отсебятины — «создает музыку народ». Таким образом, проблема получения благозвучных сочетаний звуков решается автоматически, поскольку мелодия синтезируется из интонаций, естественных для человеческого слуха.

Композитор при сочинении мелодии использует заимствованные интонации не всегда точно. Машинная имитация этого процесса также приводит к «переплавке» исходных интонаций.

Наиболее существенным здесь яв-

ляется способ «сцепления» интонаций. Для мышления композитора при сочинении мелодии, а также при восприятии ее слушателем, естественным представляется предугадывание знакомых оборотов (известная всем «радость узнавания» при прослушивании музыки) и, как следствие, такое их соединение, когда две интонации сцепляются не «встык», а как бы вытекая одна из другой. При этом первые  $m$  элементов второй интонации совпадают с последними  $m$  элементами первой интонации. Процесс сцепления по этой схеме вложенных интонаций одинаковой протяженности хорошо описывается марковской цепью  $S1$ -элементов<sup>9</sup>.

Здесь важно отметить, что таким способом строится не вся мелодия (поскольку мелодия традиционная не является марковской цепью ее элементов), а лишь ее однотактовые основные мелодические фигуры, которые включаются в мелодию в соответствии с так называемой масштабнотематической структурой, предусматривающей повторность, расчленение и сцепление между собой отдельных фрагментов мелодии.

Заметим, что аппарат марковских процессов, важным случаем которых является марковская цепь, широко используется при точном анализе многих (порой неожиданных) явлений действительности. Так, размышляя о марковских процессах в музыке, я вспомнил бытующее мнение специалистов: мы поймем природу чело-

<sup>9</sup> Марковская цепь — это в нашем случае такая последовательность нот, в которой вероятность появления некоторой ноты зависит лишь от нескольких непосредственно предшествующих ей нот.

века, если разгадаем механизм сновидений.

Не останавливаясь на несущественных деталях и не претендуя на полное решение проблемы, можно считать несомненным следующее: картина сновидения складывается из отдельных сюжетов (кадров, шагов и т. п.), связанных друг с другом, как звенья в цепи Маркова, и обладающих ее характерными свойствами.

В этой интерпретации становится ясной причина нереальности, фантастичности, хаотичности и даже противоречивости сновидений. Дело в том, что каждый кадр в цепи порядка  $n$  взаимосвязан лишь с соседними кадрами, отстоящими от него не больше чем на  $n$  шагов (сюжетов). А что происходило ранее, он не знает — это одно из основных свойств цепи Маркова, которая, образно говоря, не «помнит» своей истории. Сопоставление сюжетов, отстоящих один от другого более чем на  $n$  шагов, представляется поэтому нелогичным, нереальным, бессвязным, хотя возникновение и смены промежуточных сюжетов, которые редко вспоминаются (ведь в памяти обычно остаются лишь наиболее яркие сюжеты сновидения), вполне логичны, реальны. (Практика показывает, однако, что порядок  $n$  в такой цепи не обязательно должен быть постоянным. Это аналогично тому, как складывается мелодия из интонаций разной длины — разного числа нот.)

Читатель, вспомнив какой-нибудь свой сон (по возможности с наибольшим числом деталей), может разложить его на отдельные последовательные сюжеты и аккуратно сложить их в виде марковской цепи, убедившись в справедливости излагаемой гипотезы.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДА «ПОГРУЖЕНИЯ»

Порождение мелодий из интонаций, основанное на психологических критериях отбора (по степени благозвучности, или «красоты»), отражает процесс сочинения мелодии человеком, позволяя выявить механизм заимствования интонаций в творчестве композитора.

Подобно композитору, алгоритм порождения мелодий, «погружаясь» в соответствующее множество мелодий, может затем передать сочиняемой мелодии приобретенную интонационную окраску. Результатом будет новая композиция, насыщенная интонациями из этих мелодий, подобная им по стилю, хотя, возможно,

и отличающаяся по другим параметрам. Для этого в частотном словаре нужно пометить интонации из интересующего нас множества (которое может состоять из нескольких мелодий), что делается автоматически после его ввода в ЭВМ. При выборе интонаций из частотного словаря описанным выше способом «мелкие» интонации имеют приоритет. Если же ни одна из них не удовлетворяет условиям «фильтра», то выбираются другие интонации. Аналогично машина может из некоторого словарного запаса выбирать слова с определенными ассонансами для обеспечения звуковых эффектов, как, например, в стихотворении А. Н. Майкова «Октава»: «Прислушайся душой к шептанью тростников». В таком поиске слов с заданными признаками машина может оказаться (а почему бы и нет) незаменимым помощником поэта.

Уже теперь машина становится помощником композитора при выполнении рутинной части его работы. Так, для воплощения воображаемого композитором образа мелодии необходим отбор из памяти человека конкретных музыкальных средств, которых, кстати сказать, может оказаться недостаточно для реализации творческого замысла. Подобное происходит и в деятельности поэта, и научного работника, и изобретателя. В этом случае может быть полезной ЭВМ с ее феноменальными вычислительно-логическими способностями к выполнению таких операций, которые до недавнего времени считались приоритетом человека, наделенного интуицией. Кроме того, пользователь может извлекать необходимую ему информацию и в нужном виде не из своей крайне ненадежной памяти, а из практически неограниченной памяти ЭВМ, оснащенной достаточными банками данных.

### ТВОРЧЕСТВО И ЭВМ

К настоящему времени разработаны способы кодирования нотных партитур. Однако серьезным препятствием для ввода нотных массивов больших объемов является отсутствие реально действующей системы оптического считывания общепринятой музыкальной нотации, а также автоматического преобразования печатного нотного текста в информацию на магнитных лентах или перфокартах, пригодную для ввода в ЭВМ. Ручной ввод нотных знаков в виде их кодов — непроизводительное занятие, не гарантирующее от ошибок. И первое, что приходит в голову, это облегчить ввод нотного текста путем проиг-

рывания его на клавишном инструменте, подключенном к входному устройству ЭВМ. Однако при этом возникает трудность принципиального характера, связанная с явлением энгармонизма звуков: звуки, имеющие одну и ту же высоту, могут иметь разные названия и ступени лада (например, до-диез — ре-бемоль и др.). А способ ввода нажатием клавиши фиксирует лишь абсолютную высоту звука, кроме того, теряется информация о метрических акцентах.

Составление программ для вывода из памяти ЭВМ музыкальной информации в виде, удобном для непосредственного использования, не представляет принципиальных или технических трудностей. Результат может быть получен в следующих видах:

а) в виде обычной нотной записи на экране дисплея или на бумаге. «Нарисованные» таким образом ноты можно сразу же проиграть на любом музыкальном инструменте или пропеть голосом;

б) посредством цифровозвукowego преобразователя нотный текст из памяти ЭВМ может быть автоматически выведен в звуковом виде через громкоговоритель или записан на магнитофонную ленту для последующего звуковоспроизведения;

в) в виде таблиц, графиков и пояснительных текстов, содержащих результаты машинной обработки нотного материала, которые могут также иллюстрироваться нотными примерами в обычной нотации.

Машина способна выполнять многие виды трудоемкой технической работы, связанной с перепиской нот, редактированием нотных текстов, транспонированием партий в другие тональности — разумеется, без многочисленных ошибок, неизбежных при ручном исполнении работы.

Моделирование на ЭВМ сочинения мелодий и эксперименты по сравнительной оценке человеческих и машинных мелодий показывают, что вычислительная машина уже теперь успешно справляется с музыкальным творчеством, в котором установилась определенная стабильная, стереотипная форма (ее структура, средства выразительности и язык). Подобная стереотипность в сочетании с вариационностью наблюдается и в других видах художественного творчества, например в волшебных сказках<sup>10</sup>, в стихотворениях простой

формы (песни скальдов)<sup>11</sup>, в кружевоплетении<sup>12</sup> и др. Исследования в этой области связаны и с поиском объективных критериев оценки художественного творчества, что представляет собой определенную трудность.

Так, еще недавно — до использования ЭВМ — сочинение музыки и другие творческие процессы считались лишь привилегией высшего проявления человеческого духа с его способностью к озарению, порывам вдохновения и т. п. Теперь, после ознакомления с машинными композициями и другими результатами моделирования творчества, ясно, что и алгоритм способен порождать такие же результаты. Напрашивается вывод, что подавляющее большинство элементов творческой деятельности, реализуемых человеком «по интуиции», на самом деле являются реализацией неосознаваемых, но объективно существующих и формализуемых критериев «красоты» и «вкуса». Так, не вполне осознаваемое варьирование заимствованных элементов проявляется и как перенос идей из других видов творчества или рассуждение по аналогии, что присуще любому творческому процессу и занимает в нем важное место.

И в силу общности глобальных процедур мышления именно рассуждение по аналогии при рассмотрении действующей модели некоторого вида творчества (например, музыкального) помогает осознать глубинные механизмы других видов творчества. При этом совокупность глобальных процедур как бы является «оболочкой», которая в каждом конкретном виде творчества заполняется конкретным содержанием (базой данных и базой знаний).

Кроме того, компьютерные исследования подтверждают подвижность границы между знанием и незнанием, между алгоритмически описанным и «чистым» творчеством — тем, что еще пока не поддается алгоритмизации и совершается по интуиции.

Но интуиция необходимо опирается на объективно существующие, хотя еще не обнаруженные закономерности. И моделирование на ЭВМ, являясь мощным методом познания, способствует постижению глубинных, неосознанных закономерностей мышления и творчества.

<sup>11</sup> Кондратов А. М., Зубов А. В. // Кибернетика. 1984. № 5. С. 86—88.

<sup>12</sup> См.: Зарипов Р. Х. Машинный поиск вариантов при моделировании творческого процесса. М., 1983.

<sup>10</sup> Гаазе-Рапопорт М. Г., Поспелов Д. А., Семенова Е. Т. Порождение структур волшебных сказок. М., 1980.

## Эксперимент «Памир»

Г. Б. Жданов, В. М. Максименко, С. А. Славятинский

Изучение природы сильного (ядерного) взаимодействия и структуры адронов (частиц, испытывающих его влияние) — одна из основных задач современной физики элементарных частиц.

Характер и специфика элементарных частиц особенно ярко проявляются в их столкновениях друг с другом. Неудивительно поэтому, что преимущественно эти процессы выбраны физиками для изучения внутренней структуры частиц и их взаимодействий. При этом, чем выше энергия столкновения, тем более тонкие детали структуры объектов микромира можно «разглядеть». Отсюда неизменное стремление повышать в экспериментах энергию сталкивающихся частиц.

В распоряжении экспериментаторов есть два источника частиц высоких энергий: современные мощные ускорители и космические лучи. Эксперименты на ускорителях имеют несомненные преимущества: контролируемость условий проведения опытов, большая интенсивность пучков ускоренных частиц, высокая точность количественных результатов и т. д. дают возможность подробно и всесторонне изучать характеристики интересующих нас объектов и их поведение. Что же касается экспериментов с космическими лучами, то в них можно выявить лишь основные, характерные черты процесса взаимодействия частиц, но зато при существенно более высоких энергиях, чем на современных ускорительных установках.

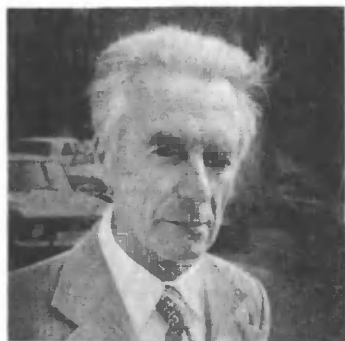
Однако использовать этот дар природы — космические лучи — для экспериментов достаточно сложно. Одна из главных причин (но, к сожалению, не единственная) — низкая интенсивность потока космических частиц, к тому же быстро спадающая с ростом их энергии. Чтобы набрать нужное количество случаев взаимодействия, т. е. получить удовлетворительную статистическую обеспеченность результатов, приходится работать в пре-

дельных условиях. Во-первых, для уменьшения влияния поглощения космического излучения в атмосфере размещать аппаратуру высоко в горах (с учетом технических и «человеческих» факторов оптимальные высоты — 3—5 тыс. м над ур. м.) или на аэростатах и спутниках. Во-вторых, вести опыты в течение длительного времени. В-третьих, использовать детекторы максимально больших размеров (по принципу «если в реке мало рыбы, сеть должна быть большой»). Причем дело осложняется тем, что сделать обычные приборы, применяемые в физике высоких энергий, нужных размеров технически невозможно и приходится применять специфические методы эксперимента. Один такой метод, в котором используются большие рентгено-эмульсионные камеры (РЭК), интенсивно развивается в последние 20—25 лет советскими, японскими и бразильскими физиками. Площадь таких камер может быть доведена до 1000 м<sup>2</sup> и более, а регистрацию событий в каждой из них можно осуществлять непрерывно в течение года.

Эксперименты с космическими лучами осложнены также и тем, что в составе первичного космического излучения наряду с протонами в заметном количестве присутствуют ядра более тяжелых элементов (вплоть до железа), причем этот ядерный состав в области больших энергий точно неизвестен. Это обстоятельство, а также ряд других (о них пойдет речь ниже) вынуждают использовать специальные методы анализа экспериментальных данных, основанные на широком применении математического моделирования.

### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РЭК

Метод, использующий рентгено-эмульсионные камеры, основан на возможности регистрации  $\gamma$ -квантов и электронов (или позитронов) большой энергии по электронно-фотонным каскадам, вызывае-



Георгий Борисович Жданов, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории адронных взаимодействий Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Заместитель руководителя эксперимента «Памир». Тематика основных работ — взаимодействие космических лучей с веществом при высоких и сверхвысоких энергиях. Автор ряда научно-популярных книг. В «Природе» опубликовал статью (совместно с В. М. Бондаренко): Космические лучи на службе геологии (1980, № 8).



Вадим Матвеевич Максименко, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Заместитель руководителя эксперимента «Памир». Область научных интересов — теоретическое и экспериментальное исследование процессов множественного рождения частиц при высоких энергиях. Автор монографии: Кинематика ядерных реакций (совместно с А. М. Балдиным, В. И. Гольданским, И. Л. Розенталем). М., 1968.



Сергей Анатольевич Славатинский, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией адронных взаимодействий ФИАН, профессор Московского физико-технического института. Руководитель эксперимента «Памир». Специалист в области физики космических лучей высоких энергий.

мым этими частицами в плотной среде. В результате вместо одной первичной частицы с энергией  $E_\gamma$  возникает пучок частиц ( $\gamma$ -квантов, электронов и позитронов), число которых на заданной глубине в веществе зависит от  $E_\gamma$ . При достаточно большом значении  $E_\gamma$  число каскадных частиц столь велико, что электронно-фотонный каскад может быть обнаружен по суммарному воздействию на фотоэмульсию, на которой после проявления в соответствующем месте появляется темное пятно, видимое невооруженным глазом.

Наиболее подходящий фотоматериал для этих целей — рентгеновская пленка

с повышенной чувствительностью к электронам за счет высокой концентрации серебра (например, советская пленка РТ-6М). В ней могут быть обнаружены каскады, вызванные  $\gamma$ -квантами или электронами с энергией, превышающей 1—2 ТэВ ( $1 \text{ ТэВ} = 10^{12} \text{ эВ}$ ).

Поскольку число электронов в электронно-фотонном каскаде (а фотографическое действие оказывают за счет ионизации именно электроны) на заданной глубине зависит от энергии  $E_\gamma$  первичной частицы, то наблюдения с помощью РЭК дают принципиальную возможность количественных измерений величины  $E_\gamma$ . Для



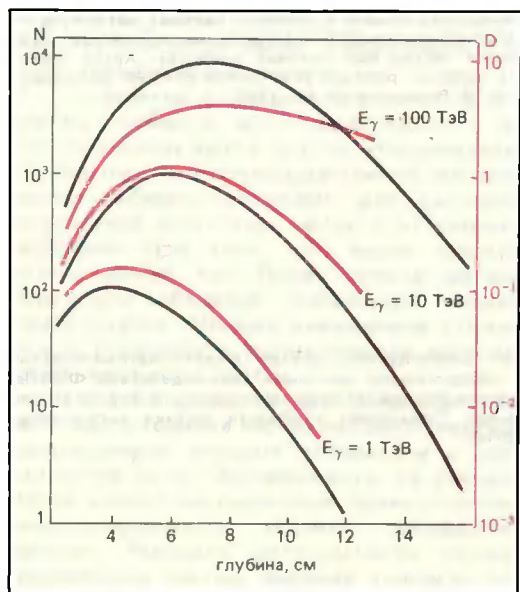
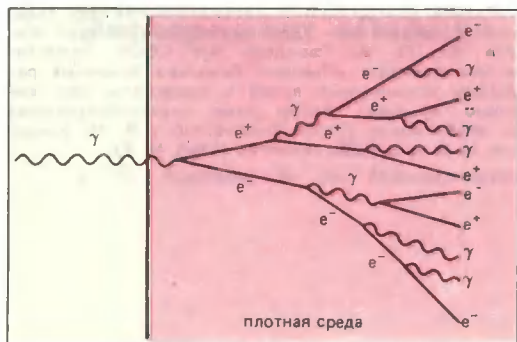


Схема образования электронно-фотонного каскада при прохождении  $\gamma$ -кванта или электрона (позитрона) большой энергии через плотную среду, например свинец (вверху). В электрическом поле ядер атомов среды  $\gamma$ -квант образует пару электрон-позитрон [ $e^+e^-$ ]. Испытывая торможение в среде, эти частицы в свою очередь испускают  $\gamma$ -кванты. Чередование таких процессов и приводит к каскадному размножению частиц. Их число вначале растет, но по мере развития каскада энергия частицы-«родителя» дробится между все возрастающим количеством каскадных частиц и их средняя энергия падает. Электроны и позитроны начинают поглощаться за счет ионизации атомов среды, а  $\gamma$ -кванты — за счет фотоэффекта. В конце концов электронно-фотонный каскад начинает затухать. Зависимость числа каскадных электронов  $N$  от глубины в круге заданного радиуса  $R$  описывается характерной кривой с максимумом, определяемым энергией  $E_\gamma$  первичного  $\gamma$ -кванта (внизу). Здесь  $R=50$  мкм. На этом же рисунке приведена зависимость экспериментально наблюдаемой величины  $D$  — интегрального потемнения в круге того же радиуса — от глубины развития каскада.

этого можно было бы посчитать число частиц  $N$ , попавших в круг заданного радиуса. Однако такая процедура весьма кропотливая и трудоемкая. В случае же рентгеновских пленок она может быть заменена фотометрированием соответствующего пятна от электронно-фотонного каскада. Мерой потемнения пятна служит величина  $D$ , определяемая как логарифм отношения интенсивностей светового пучка, проходящего через диафрагму без объекта и с объектом фотометрирования, соответственно. Величина  $D$  однозначно связана с числом частиц  $N$ , следовательно, и со значением энергии  $E_\gamma$ .

Помимо энергии  $E_\gamma$ , РЭК дает возможность определить угол падения электронно-фотонного каскада. Нитроцеллюлозная основа рентгеновской пленки (толщиной около 200 мкм) покрыта эмульсионными слоями с двух сторон, и угол падения электронно-фотонного каскада можно определить по относительному смещению пятен в двух эмульсионных слоях. В этих целях можно воспользоваться также двумя разными пленками, разделенными некоторым промежутком (при условии, что их взаимное расположение достаточно точно фиксировано).

Описанным способом с помощью РЭК определяются основные характеристики упавших на камеру  $\gamma$ -квантов или электронов — их энергия, направление движения, координаты точки прохождения частицы через плоскость наблюдения. Чтобы помимо этого регистрировать и адроны большой энергии, необходимо иметь в РЭК слой вещества, в котором адроны будут вступать в ядерные взаимодействия, а возникающие при этом  $\gamma$ -кванты (в основном от распада нейтральных пионов) регистрировать в РЭК. Такой слой вещества служит своего рода конвертором, в котором адроны передают часть своей энергии электронно-фотонному каскаду.

### ЭКСПЕРИМЕНТ «ПАМИР» И ЕГО ЗАДАЧИ

Во взаимодействиях адронов больших энергий основную долю событий составляют неупругие столкновения с образованием большого числа вторичных частиц (так называемое множественное рождение частиц).

Если на неподвижную мишень направить пучок быстрых частиц — «снарядов», а образующиеся продукты столкновения — вторичные частицы — фиксировать с помощью регистрирующей аппаратуры, то по характеристикам вторичных частиц можно

судить о механизме их образования. Именно по такой стандартной схеме и ставится большинство экспериментов в физике высоких энергий.

Идея использовать для изучения неупругих взаимодействий поток космических адронов в качестве «снарядов», а большие РЭК — в качестве регистрирующей аппаратуры лежит в основе обширного цикла исследований, коротко называемого эксперимент «Памир».

В качестве мишени в экспериментах с РЭК может служить либо вещество самой камеры, либо специально установленный над ней слой плотного вещества, либо слой атмосферы — выбор мишени определяется в основном интервалом изучаемых энергий.

Эксперимент «Памир» направлен на исследование взаимодействий в области энергий от 100 до 100 000 ТэВ, поэтому следует рассчитывать на регистрацию вторичных частиц с энергиями вплоть до сотен тераэлектронвольт. При таких энергиях вторичные частицы вылетают очень узким пучком с малым угловым расхождением. Чтобы эти частицы были зарегистрированы в РЭК по отдельности, они должны разойтись до уровня регистрации на относительные расстояния, превышающие размеры самих пятен (а последние составляют десятки и сотни микрон). Оценки показывают, что при таком малом углом расхождении регистрирующая аппаратура (РЭК) должна быть отнесена от мишени на расстояние в несколько сотен метров и больше. Это означает, что для целей эксперимента «Памир» единственно возможной мишенью может быть слой атмосферы над камерой. Толщина его примерно в 6—7 раз превосходит средний свободный пробег адронов. Иными словами, при такой толщине мишени неизбежны ядерные взаимодействия вторичных адронов, и поэтому в большинстве случаев регистрируются частицы не от одного акта ядерного взаимодействия (как это было бы при тонкой мишени), а частицы нескольких «поколений».

Зарегистрированные вторичные частицы представляют собой смесь заряженных адронов и  $\gamma$ -квантов<sup>1</sup>, возникающих при распаде короткоживущих нейтраль-

ных адронов (в основном  $\pi^0$ -мезонов). Эти «генетически» связанные частицы регистрируются в РЭК в виде групп пятен потемнения от электронно-фотонных каскадов, у которых (в пределах измерительных ошибок) совпадают направления осей. Такие группы принято называть «семействами» — они и представляют собой основной объект исследований в эксперименте «Памир».

Как уже указывалось, для регистрации адронов РЭК должна содержать слой поглотителя-конвертора, в котором происходят ядерные взаимодействия адронов и передача части их энергии пучку  $\gamma$ -квантов. Поскольку в свинце средний свободный пробег для ядерного взаимодействия адронов значительно превышает средний свободный пробег для электромагнитного взаимодействия  $\gamma$ -квантов (точнее, так называемую каскадную единицу длины), то в верхних слоях свинцового фильтра в основном развиваются электронно-фотонные каскады от  $\gamma$ -квантов высоких энергий, а адроны взаимодействуют и регистрируются в глубине РЭК. Таким образом, в основной схеме РЭК эксперимента «Памир» естественным образом можно выделить две части: верхнюю — предназначенную для регистрации  $\gamma$ -квантов высоких энергий (Г-блок), и нижнюю — предназначенную для регистрации адронов (Н-блок).

В основной части памирской РЭК в качестве поглотителя-конвертора в Н-блоке используется легкое, содержащее углерод вещество — резина. Однако для многих методических целей используются РЭК только со свинцовым поглотителем. Важно лишь, чтобы для эффективной регистрации адронов суммарная глубина РЭК составляла 2—3 длины свободного пробега адронов.

Таким образом, с помощью РЭК для каждого семейства измеряются следующие величины:

направление прихода всего семейства;

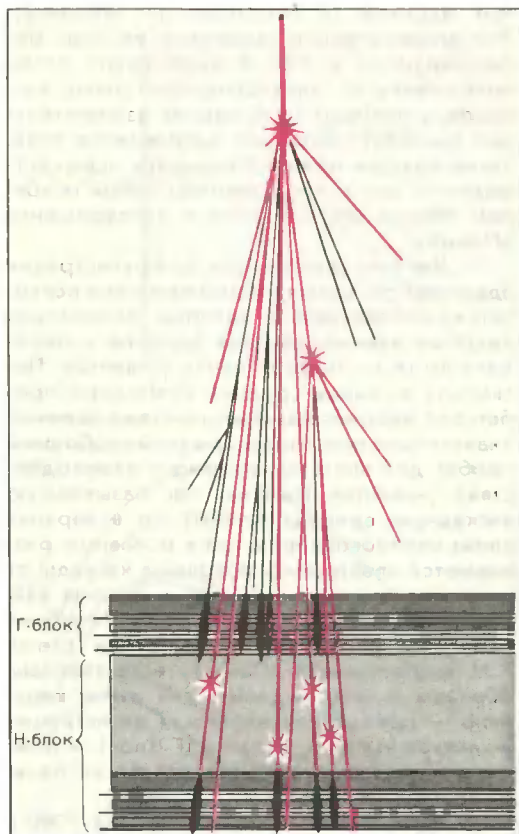
число  $\gamma$ -квантов и адронов с энергией выше определенного порога;

энергии вторичных частиц, их взаимные относительные координаты в плоскости наблюдения.

В результате кропотливого анализа из этой первичной информации можно извлечь важные характеристики взаимодействия адронов в области высоких («сверхускорительных») энергий. Вот основные из них:

вероятность, или сечение, взаимодействия;

<sup>1</sup> Вообще говоря,  $\gamma$ -кванты дают начало электронно-фотонному каскаду в воздухе, так что среди вторичных частиц есть также электроны и позитроны, но все эти частицы в РЭК не различаются, поэтому в дальнейшем мы будем для краткости называть все эти сорта частиц  $\gamma$ -квантами.



Общая схема РЭК для регистрации  $\gamma$ -квантов (черные линии) и адронов высоких энергий (цветные линии). Камера состоит из чередующихся слоев свинца (темные полосы) и вещества, содержащего углерод — резины (показана серым), «прослоенных» рентгеновской пленкой (горизонтальные черные линии). Частицы электромагнитной природы ( $\gamma$ -кванты и электроны) вызывают в свинце электронно-фотонные лавины (темные утолщения на концах соответствующих линий). При большой начальной энергии число частиц в каскаде столь велико, что их действие на фотомультипликатор вызывает пятно почернения, видимое невооруженным глазом. Длина свободного пробега  $\gamma$ -адронов больше, чем у  $\gamma$ -квантов и электронов. Поэтому во взаимодействии они выступают в основном в мишени из углерода, передают часть своей энергии образовавшимся при этом  $\gamma$ -квантам, которые затем вызывают аналогичные пятна почернения в рентгеновских пленках нижнего слоя свинца. В результате ядерно-электромагнитный каскад, порождаемый в атмосфере первичной частицей — протоном или каким-то ядром (изображена утолщенной цветной линией), регистрируется в РЭК в виде группы близко расположенных пятен, которую принято называть семейством. Верхние слои свинца РЭК образуют так называемый Г-блок (здесь регистрируются  $\gamma$ -кванты); вещество, содержащее углерод, и нижний слой свинца — Н-блок (здесь регистрируются адроны).

зависимость числа рождающихся в столкновении частиц от энергии и характер распределения энергии первичной частицы между ними (в частности, давно обсуждается гипотеза так называемой масштабной инвариантности, или, как еще говорят, скейлинга, согласно которой характеристики взаимодействия зависят лишь от отношения энергий первичной и вторичной частиц — проверка этой гипотезы является весьма важной задачей физики элементарных частиц);

наличие «струйных» эффектов, обусловленных жестким рассеянием кварков, составляющих адроны (такие эффекты предсказываются современной теорией сильных взаимодействий — квантовой хромодинамикой).

Надо иметь также в виду, что при переходе в неисследованную еще область энергий можно ожидать новых, «экзотических» явлений. Кроме того, в ходе анализа данных представляется возможность оценить такие астрофизические характеристики, как состав и спектр первичного космического излучения и др.

Для проведения подобной работы нужно было найти место в горах, которое находилось бы на большой высоте, имело бы большие ровные площадки для работы и в то же время было доступно для автотранспорта (поскольку общий вес материалов для создания РЭК — несколько тысяч тонн). Такое место нашлось в горах Восточного Памира на высоте 4360 м над ур. м., что соответствует  $600 \text{ г/см}^2$  вещества (воздуха) над РЭК.

В работе по программе эксперимента «Памир»<sup>2</sup> объединились усилия исследователей из семи научных учреждений нашей страны: Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР (головной институт), Института ядерных исследований АН СССР, Научно-исследовательского института ядерной физики МГУ, Института физики АН ГрузССР, Института физики высоких энергий АН КазССР, Физико-технического института им. С. У. Умарова АН ТаджССР, Физико-технического института им. С. В. Стародубцева АН УзССР. На основе двусторонних договоров в работе активно участвуют наши коллеги из Польской Народной Республики — из Лодзинского университета и Высшей педагогической школы г. Кельце.

<sup>2</sup> О начале работ по эксперименту «Памир» см.: Вернов С. Н., Добротин Н. А., Фейнберг Е. Л. Физика элементарных частиц в области энергий, недоступных для ускорителей // Природа. 1973. № 7. С. 31—39.

В последнее время начаты совместные работы с японскими физиками из Токийского университета и Университета Вагеда, а также бразильскими учеными из Института физики имени г. Ватагина (г. Кампинас) и Центрального института физики (г. Рио-де-Жанейро).

### ПРОХОЖДЕНИЕ ЧАСТИЦ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ СКВОЗЬ АТМОСФЕРУ

Информация, полученная с помощью РЭК, длительное время экспонируемых в горах, позволяет определить энергетические спектры  $\gamma$ -квантов и электронов, а также адронов сверхвысоких энергий. Эти спектры описываются степенной функцией

$$F(\geq E) = A(E/E_{\min})^{-\beta}.$$

В переводе с языка математики это означает: число частиц  $F$ , приходящих в единицу времени на единицу площади в определенном интервале углов и обладающих энергией, не меньшей  $E$ , равно величине  $A$ , если отсчет начинать с некоторой характерной энергии  $E_{\min}$  (для  $\gamma$ -квантов она выбирается обычно около 4 ТэВ), а далее с ростом энергии этот поток убывает по степенному закону с показателем степени  $\beta$ .

Опыт показал, что вертикальный поток  $\gamma$ -квантов и электронов на высоте, где работает Памирская экспедиция ФИАН, составляет Памирская экспедиция ФИАН, составляет (с точностью 20 %) очень скромную величину — около 35 частиц на  $1 \text{ м}^2$  в год (в телесном угле 1 ср), а показатель степени  $\beta$  близок к 2 (точнее, он равен  $2,08 \pm 0,06$ ). Примерно такие же значения потока и показателя степени в спектре получаются и для адронов. Необходимо, однако, учесть, что адроны при своем взаимодействии с материалом камеры выделяют в электронно-фотонную лавину (через образование и распад  $\pi^0$ -мезонов) лишь около 20 % своей энергии, поэтому пороговое значение энергии  $E_{\min}$  для них следует принимать равным 20 ТэВ.

Помимо чисто описательных характеристик космических лучей сверхвысокой энергии, из полученных данных можно извлечь и ценную физическую информацию о том, как меняются свойства хорошо известных адронов с увеличением их энергии и что получится, если мы далеко уйдем за пределы возможностей современных ускорителей. Для этого можно, во-первых, сопоставить потоки частиц, приходящих в ту же самую РЭК под разными зенитными углами и, следовательно, прошедших раз-

ный путь в земной атмосфере; во-вторых, использовать данные о потоках частиц, полученные с помощью аналогичных камер на других высокогорных станциях (в Боливии, Китае, Японии) и с самолетных установок в стратосфере, и, наконец, можно сопоставить потоки частиц на высоте Памира с потоками первичного космического излучения. Все три метода позволяют установить закон поглощения адронов соответствующих энергий в земной атмосфере, который можно выразить экспоненциальной функцией вида

$$F(\geq E, h) = F_0(\geq E, h_0) \exp\left(-\frac{h_0 - h}{\lambda}\right).$$

Такая запись означает, что поток частиц с энергией не менее  $E$  на произвольной высоте  $h$  отличается от такого же потока на исходной высоте  $h_0$  экспоненциальным множителем, в который входит отношение пройденной излучением разности уровней к некоторой характерной величине  $\lambda$ , называемой средним пробегом поглощения частиц данной природы в данной среде. При этом глубина уровня наблюдения определяется массой вещества в граммах в столбике сечением  $1 \text{ см}^2$ . На расстоянии, равном  $\lambda$ , поток частиц падает в  $e \approx 2,72$  раз.

Согласующиеся между собой данные всех трех методов исследования поглощения адронов с энергиями 1—100 ТэВ привел к значениям средних пробегов поглощения около  $100 \text{ г/см}^2$  воздуха. Эта величина заметно отличается от измеренного ранее пробега 120  $\text{г/см}^2$  для адронной компоненты космических лучей более низких энергий.

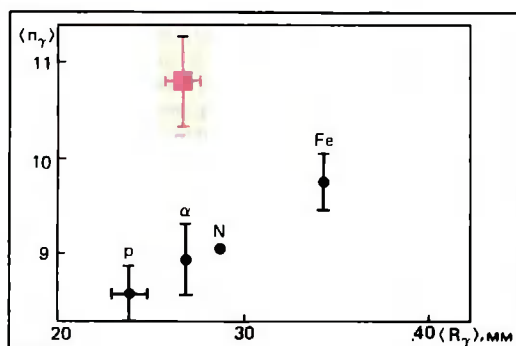
Таким образом, с ростом энергии адронов в 100 раз темп их поглощения в воздухе увеличивается примерно на 20 %. Это может означать, что и вероятность взаимодействия адронов с ядрами воздуха в данном слое вещества, и соответствующее сечение столкновения адрона с легким ядром азота или кислорода растет примерно на 10 % при каждом увеличении энергии адрона в 10 раз. Все эти выводы сделаны в предположении, что степень упругости взаимодействия адрона с ядром неизменна, иными словами, средняя доля энергии, остающейся у адрона после столкновения с ядром, постоянна.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕМЕЙСТВ ЧАСТИЦ И ОСОБЕННОСТИ МНОЖЕСТВЕННОГО РОЖДЕНИЯ

При построении энергетических спектров  $\gamma$ -квантов или адронов учитывают-

ся все такие частицы независимо от того, падают ли они на РЭК поодиночке или группами, в составе семейства. Однако чем выше энергия частицы по сравнению с порогом регистрации рентгеновской пленкой, тем вероятнее, что одновременно с ней и в том же направлении идут другие частицы — «потомки» той же самой космической частицы, которая упала на границу атмосферы и вызвала весь ядерно-электромагнитный каскад.

К сожалению, толщина атмосферы над уровнем регистрации частиц даже на



Двумерное представление среднего  $\gamma$ -семейства с энерговыделением от 200 до 400 ТэВ,  $\langle R_{\gamma} \rangle$  — среднее расстояние от центра для частиц семейства с энергиями больше 2 ТэВ;  $\langle n_{\gamma} \rangle$  — средняя множественность лидирующих частиц, энергия которых превышает 4 % от суммарной энергии всех частиц. Сопоставление экспериментальной точки (выделена цветом) с результатами расчетов (черные точки) в различных предположениях о природе первичной космической частицы [протон p,  $\alpha$ -частица, ядра азота N и железа Fe] приводит к выводу об изменении вида энергетического спектра вторичных частиц во взаимодействиях адронов с ядрами атомов воздуха независимо от ядерного состава первичного излучения.

самых высоких горах намного превышает тот средний пробег, на котором происходит неупругое столкновение адронов с ядрами атомов воздуха. А это означает, что при наблюдении семейства мы, как правило, собираем продукты не одного, а нескольких взаимодействий различных адронов в атмосфере, и делать прямые выводы о характеристиках процесса множественного рождения из соответствующих данных по семействам было бы неправильно. Приходится идти более сложным, косвенным путем, сравнивая результаты наблюдений с результатами математического моделирования процесса развития атмосферного ядерного каскада в целом в тех или иных предположениях об энергетических и

угловых характеристиках каждого отдельного взаимодействия.

Простейшим и довольно естественным является предположение, что процессы множественного рождения протекают по тем же законам, которые известны из опытов на ускорителях (это уже упоминавшаяся нами гипотеза масштабной инвариантности). Количественно это означает, что характеристики взаимодействия зависят лишь от отношения энергии вторичной частицы к энергии первичной.

Реальная ситуация осложняется тем, что ядерный состав первичного космического излучения далеко не однороден: не менее 50 % составляет вероятность прихода не просто протона (ядра водорода), а более сложного ядра вплоть до железа. И это не просто усложнение расчетной задачи, а новый источник неопределенности, поскольку ядерный состав первичного излучения мог бы, вообще говоря, измениться в новой, еще не изученной области энергий. Такова, в частности, точка зрения одной из групп японских физиков из Токийского университета, которые приходят к выводу о существенном увеличении доли ядер железа при энергии  $10^3$  ТэВ и выше.

Для проверки этой возможности теории, участвующие в эксперименте «Памир», предложили проводить анализ эксперимента и его сопоставление с результатами математического моделирования явления сразу по двум величинам. Одной из них служит среднее число частиц (множественность — она обозначается символом  $\langle n_{\gamma} \rangle$  лидирующей группы частиц  $\gamma$ -семейства, или попросту среднее число частиц этого семейства. При этом энергетическая граница лидирующей группы каждый раз определяется заново так, чтобы минимальная энергия одной частицы составляла не менее 4 % суммарной энергии частиц лидирующей группы в целом. Другой важной величиной, характеризующей уже не продольное, а поперечное развитие каскада, служит средний радиус семейства  $\langle R_{\gamma} \rangle$  — среднее расстояние всех его частиц от общего центра.

Расчеты показали, что с возрастанием массы первичного ядра растут одновременно и множественность и средний радиус  $\gamma$ -семейства. При этом за счет увеличения среднего атомного номера первичных частиц действительно можно «подогнать» множественность до экспериментально наблюдаемой величины 10,5 частиц. Однако средний радиус семейства оказывается при этом заметно больше экспериментального



значения 25 мм, а это противоречит выводам тойской группы.

Единственный выход состоит в том, чтобы допустить нарушение масштабной инвариантности: увеличить степень диссипации (дробления) энергии в процессе множественного рождения частиц адронами. Такого рода рост диссипации в каждом взаимодействии должен привести к увеличению множественности семейств при значительно меньшем возрастании их среднего радиуса по сравнению с тем, что дал бы эффект утяжеления первичного ядерного состава.

К вопросу о причине нарушения масштабной инвариантности с ростом энергии взаимодействующих адронов мы еще вернемся.

### АДРОННЫЕ СТРУИ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Одним из важнейших аргументов в пользу реальности кварков служит их косвенное проявление в виде струй — узко направленных пучков адронов, вылетающих при столкновениях частиц достаточно высокой энергии. Адронные струи наблюдались в целом в ряде опытов на ускорителях<sup>3</sup>.

Квантовую хромодинамику — теорию взаимодействия кварков за счет обмена «цветными» глюонами — пока нельзя считать полностью завершенной теорией. В ней до сих пор не преодолены серьезные вычислительные трудности, все еще существует ряд принципиальных неопределенностей, для разрешения которых выдвигаются далеко не очевидные предположения, еще требующие своей проверки на опыте.

Один из наиболее эффективных методов проверки и уточнения представлений квантовой хромодинамики — изучение взаимодействий частиц, в том числе адронов, при все более высоких энергиях. Дело в том, что с ростом энергии взаимодействия должны постепенно возрастать эффективные размеры кварков за счет все более разветвленных процессов испускания ими глюонов, причем возрастают абсолютная и относительная вероятности появления струй, порожденных глюонами. И если на самом большом из действующих ускорителей — протон-антипротонном коллайдере в Европейском центре ядерных ис-

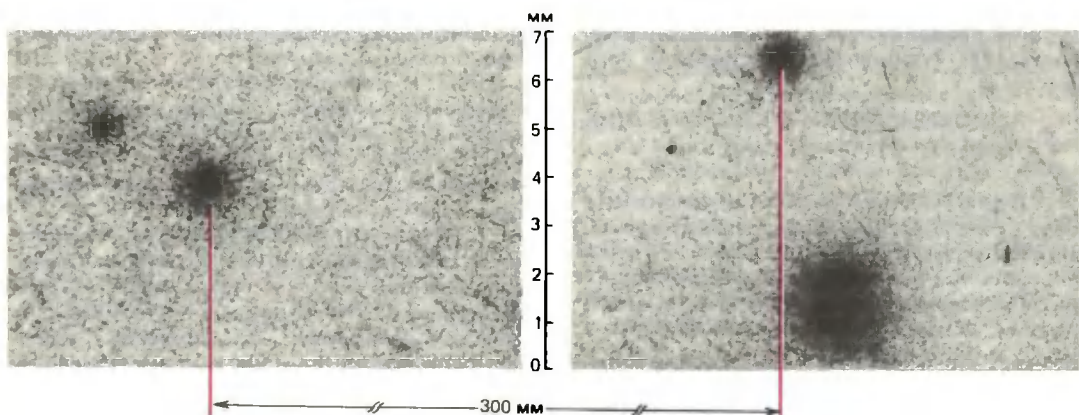
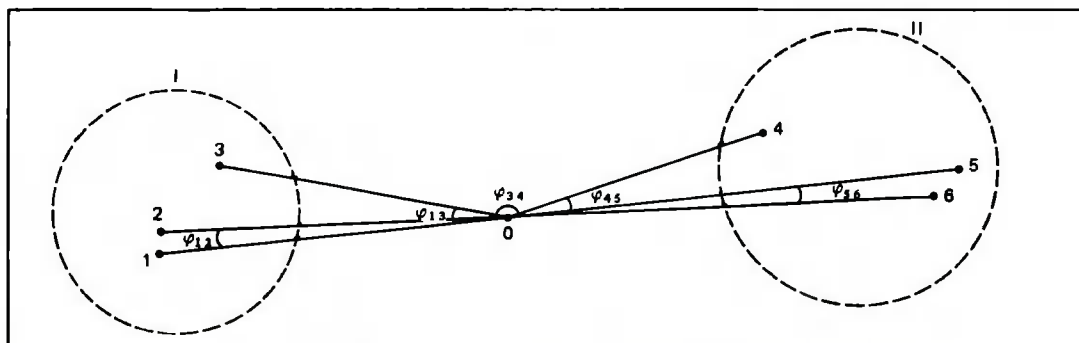
следований (Женева) — эти вероятности исчисляются процентами, то уже при энергиях порядка  $10^4$  ТэВ они вполне могут составлять десятки процентов. Характерным признаком струйных процессов должны оставаться очень большие величины поперечных составляющих общего импульса струи —  $10^9$ — $10^{10}$  эВ/с.

Естественно, что возможность наблюдения подобных явлений привлекла и участников эксперимента «Памир». Как показали детальные расчеты, наиболее благоприятные условия обеспечиваются, когда семейство падающих на РЭК частиц определяется в основном двумя группами  $\gamma$ -квантов и электронов, разделенными в пространстве большим промежутком, в 10—20 см и более. И действительно, при более внимательном анализе экспериментального материала было выявлено несколько десятков семейств столь необычного типа, что их назвали специальным термином — бинокулярные семейства.

Большая (порядка 30—50 %) вероятность образования струй в адронных столкновениях при энергиях порядка  $10^4$  ТэВ, необходимая для появления бинокулярных семейств, позволила, по крайней мере частично, объяснить и нарушение масштабной инвариантности энергетических спектров частиц при их множественном рождении, о котором уже шла речь выше. При больших поперечных импульсах струй их продольные импульсы, а тем более импульсы входящих в них частиц, сравнительно невелики — они исчисляются процентами от импульсов сталкивающихся друг с другом адронов. В итоге результирующий усредненный спектр вторичных частиц (т. е. частиц, входящих в семейство) оказывается более круто спадающим с ростом энергии, чем для семейств более низких энергий. Что касается общей множественности лидирующей группы частиц в семействах, то она оказывается соответственной более высокой, что и указывает на рост дробления (диссипации) энергии исходного адрона в процессе множественного рождения вторичных частиц. Это и означает нарушение масштабной инвариантности энергетических спектров.

Несмотря на сравнительно небольшую (порядка 5 % от всего числа семейств) долю бинокулярных событий с их ярко выраженной структурой распределения частиц, участники эксперимента «Памир» пришли к необходимости тщательного анализа структуры пространственного распределения частиц и во всех остальных событиях. Для количественного анализа этой

<sup>3</sup> Подробней об этом см.: Азимов Я. А., Докшицер Ю. Л., Хозе В. А. Партоны и струи // Природа. № 6. 1984. С. 64—76.



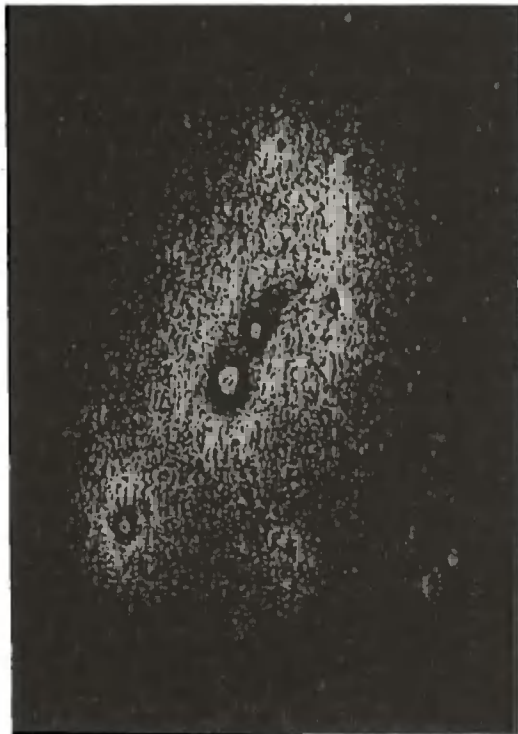
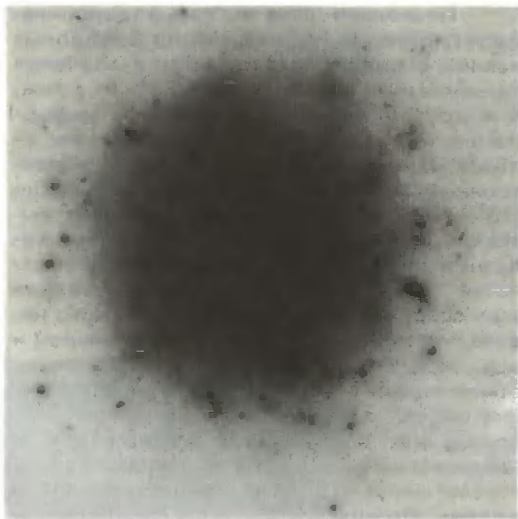
Схематическое изображение бинокулярного семейства (вверху). Расстояние между группами частиц существенно превышает размеры каждой из групп. Характерный пример подобного семейства (внизу). Для количественной характеристики степени азимутальной анизотропии распределения частиц в семействе служит параметр  $\alpha$ , определяемый как средний косинус двойного угла  $\varphi_{ik}$  между направлениями из центра семейства на частицы  $i$  и  $k$ . Для бинокулярных семейств  $\varphi_{ik}$  близки к  $0^\circ$  или  $180^\circ$ , следовательно, все значения  $\cos 2\varphi_{ik} \approx 1$  и, соответственно, параметр  $\alpha \approx 1$ . Если же первичной частицей было сложное ядро, то, согласно расчетам, частицы семейства распределяются более или менее хаотически по большой площади, и тогда  $\alpha \ll 1$ . Частота наблюдений бинокулярных семейств свидетельствует о существенном росте с энергией вероятности образования струй во взаимодействиях адронов с легкими ядрами.

соких энергиях не происходит. Так появилась новая возможность решать с помощью РЭК не только ядерно-физические проблемы взаимодействия адронов космических лучей сверхвысоких энергий, но и проблемы анализа состава первичного космического излучения в той же, пока мало изученной области энергий  $10^3$ — $10^5$  ТэВ.

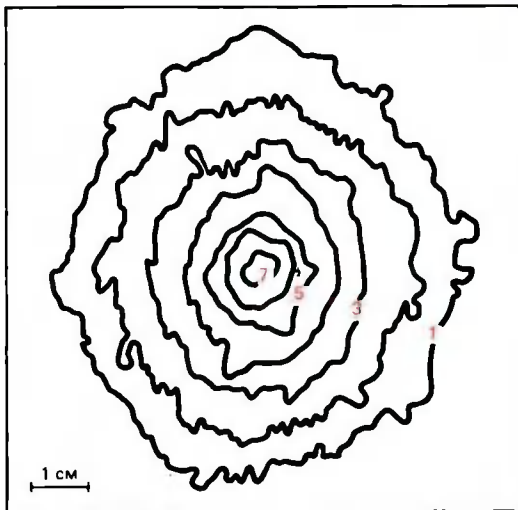
### ГАЛО В СЕМЕЙСТВАХ

О существовании частиц сверхвысоких энергий в составе первичных космических лучей физики узнали уже около 40 лет назад, когда были обнаружены широкие атмосферные ливни — мощные потоки частиц, пронизывающие всю земную атмосферу. С помощью большого числа высокочувствительных счетчиков частиц, вначале газоразрядных, а впоследствии и люминесцентных (чаще они называются сцинтилляционными), были наблюдаемы очень редкие события, когда потоки из многих миллионов частиц «орошали» сразу сотни гектаров земной поверхности. Постепенно была разработана и теория этого явления, объяснившая, как всего из одной частицы пер-

структуры был введен, в частности, специальный параметр  $\alpha$ , зависящий от азимутального угла  $\varphi$  между каждой парой частиц семейства. Расчеты показали, что в случае сложных ядер первичного излучения появляются, как правило, широкие семейства изотропного типа, а их относительное число согласуется с экспериментом лишь в том случае, когда никакого изменения ядерного состава космических лучей при сверхвы-



Одни из примеров гало в  $\gamma$ -семействе со «стволом», выстроенными вдоль одной прямой. Вдоль той же линии располагаются преимущественно и отдельные лидирующие частицы [ $\gamma$ -кванты и электроны].



Негативное изображение гало (центральной части) семейства «Финант» с рекордно высоким энерговыделением [ $\approx 30\,000$  ТэВ] и множественностью [ $\approx 1500$  частиц] в свинце на глубине 8 см (вверху). Общая площадь гало порядка  $800\text{ м}^2$ . Кривые постоянного потемнения пленки (изоденсы) для того же гало на 7 уровнях — от  $D=0,5$  до  $D=2,5$  к центру гало (внизу).

ний отдельных счетчиков в различных пунктах регистрации ливня, можно выяснить, каковы полное число частиц и переносимая ими энергия (на каждую заряженную частицу в среднем приходится 2—3 ТэВ).

Фотоэмульсии, применяемые сейчас в эксперименте «Памир», обладают, вообще говоря, гораздо более низкой чувствительностью, чем счетчики: небольшое пятно потемнения в них образуется, лишь когда за счет высокой энергии упавшей на поверхность камеры частицы (электрона или фотона) в толстых слоях свинца над рентгеновскими пленками происходит весьма интенсивное размножение электронов. При благоприятном стечении обстоятельств на высоте 3—5 км над установкой в результате распада  $\pi^0$ -мезона рождаются 2 фотона с огромной энергией порядка  $10^3$  ТэВ. При этом в атмосфере возникает очень узкий и очень плотный поток частиц, который после дальнейшего «размножения» в свинцовой камере создает пятно сплошного потемнения пленки диаметром порядка 1 см. Такого рода пятна,

вичного космического излучения развивается целый каскад ядерных взаимодействий, завершающийся передачей основной доли падающей энергии большому числу электронов, позитронов и фотонов, которые расходятся далеко во все стороны от оси ливня за счет рассеяния на ядрах атомов воздуха. Определив пространственное распределение этих частиц из показа-

наблюдаемые в центре самых больших  $\gamma$ -семейств (суперсемейств), получили специальное название «гало». Именно своим диаметром эти гало отличаются от миниатюрных, едва различимых глазом пятнышек, образуемых под свинцом электронными лавинами от отдельных электронов или фотонов.

Явление гало удостоено особого внимания в эксперименте «Памир» по ряду причин. Прежде всего, сама частота наблюдения гало зависит от того, насколько велика степень диссипации энергии при множественном рождении частиц адронами сверхвысоких энергий. Расчеты показали, что при соблюдении масштабной инвариантности спектров вторичных частиц частота появления гало была бы примерно в 10 раз выше наблюдаемой. Так появился еще один аргумент в пользу нарушения масштабной инвариантности — в подтверждение вывода, полученного при изучении спектров частиц в семействах.

Кроме того, анализ размеров гало и их структурных особенностей показывает, что в некоторых, правда очень редких, случаях свойства гало таковы, что приходится предполагать его происхождение от первичного тяжелого ядра, в частности от ядра атома железа. Это дает дополнительную возможность изучения ядерного состава космических лучей сверхвысокой энергии, важную для выяснения их источников. Имеются в виду, в частности, гипотезы, связывающие происхождение ядерной компоненты космических лучей с пульсарами — нейтронными звездами, в атмосфере которых присутствует большое число наиболее плотноупакованных ядер (например, ядер железа).

Еще одна, уже совсем удивительная особенность явления гало состоит в необычном характере структуры сложных гало, состоящих из нескольких «стволов». Как правило, такие стволы почти строго «выстроены» вдоль какой-то прямой линии. Еще более удивительно, что и отдельные, самые энергичные частицы того же семейства имеют тенденцию выстраиваться в тех же направлениях. В чем же здесь дело?

Одна из наиболее простых причин может заключаться в отклоняющем действии магнитного поля Земли на заряженные частицы, особенно если эти частицы начинают расходиться (скажем, после «развала» первичных ядер) уже на высотах в десятки километров от поверхности Земли. Для проверки такой гипотезы (а заодно и других, более экзотических) нужно провести детальные расчеты.

Несколько слов о взаимодополнительности исследований широких атмосферных ливней с помощью счетчиков и изучения семейств частиц с помощью РЭК. И в том, и в другом случае мы получаем информацию об одном и том же явлении — образовании атмосферных ядерно-электронных каскадов сверхвысокой энергии ( $10^3$ — $10^5$  ТэВ). С помощью счетчиков является полная картина явления на конечных стадиях развития каскада, в частности пространственное распределение всех основных компонент космического излучения: электронно-фотонной, мюонной и адронной. Используя РЭК, мы получаем более ограниченную, но очень важную информацию о первых, самых энергичных поколениях развития тех же каскадов, а наблюдаемые семейства составляют как бы «скелет» еще не размытого широкого ливня в целом. Поэтому неудивительно, что самые крупные установки нацелены на использование этих двух подходов к исследованию космических лучей.

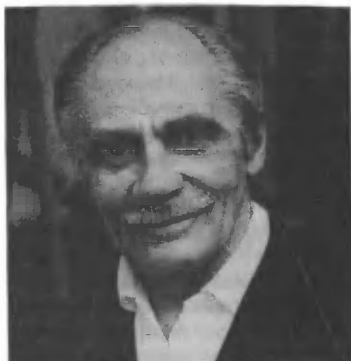
#### КОРОТКО О ПЕРСПЕКТИВАХ

Эксперименты с РЭК прочно внедрились в обиход физики космических лучей. В будущем их развитие просматривается в двух направлениях. Прежде всего увеличиваются площадки РЭК, с тем чтобы перейти к изучению редких, но наиболее интересных событий предельно высокой энергии — до  $10^5$  ТэВ. С целью скорейшего накопления таких данных в 1981 г. под эгидой Комиссии по космическим лучам при ЮНЕСКО создан специальный эмульсионный комитет, объединяющий физиков разных стран, использующих в своей работе РЭК.

Второе важное направление — получение дополнительной информации о каждом зарегистрированном событии. Для таких исследований на горе Арагац близ Еревана создается установка АНИ (была когда-то древняя столица Армении с таким названием, в то же время это — аббревиатура от словосочетания «адронные наземные исследования»). АНИ будет самой крупной в мире установкой для исследования космических лучей — с рабочей площадью  $1600 \text{ м}^2$ , уникальной электронной и фотоэмульсионной аппаратурой для проведения не только ядерно-физических, но и астрофизических исследований. К последним прежде всего нужно отнести поиск источников  $\gamma$ -излучения сверхвысокой энергии и определение химического состава первичных космических лучей.

## Старость с точки зрения эволюциониста

А. А. Малиновский



Александр Александрович Малиновский, доктор биологических наук, профессор кафедры генетики 2-го Московского медицинского института им. Н. И. Пирогова, старший научный сотрудник Института системных исследований АН СССР и Госплана СССР. Основная область научных интересов — теория биологических систем и проблемы теоретической биологии. Неоднократно печатался в «Природе».

Проблема старения, долголетия волнует людей давно, с библейских времен. Это и житейски понятно. В юности нам не хватает опыта, которого мы набираемся лишь к старости. А с возрастом, хоть и прибавляется опыта, силы уходят. «Если бы молодость знала, если бы старость могла!» Продлить юность, отодвинуть старость — это не обывательская мечта. Это и научная проблема. Попытаемся подойти к ней с биологических позиций. Однако, прежде чем ответить на вопрос, насколько непреодолима фатальная граница человеческой жизни и каков ее истинный рубеж, нужно иметь четкое представление о продолжительности жизни человека как биологического вида и понять, чем она определяется.

Еще И. И. Мечников пришел к мысли, что продолжительность жизни человека в значительной степени определяется наследием наших дочеловеческих животных предков. Поэтому интересно сравнить продолжительность жизни различных животных (прежде всего млекопитающих, как самых близких нам) и человека и найти какие-то закономерности.

Происхождение любого сложного признака, а тем более такого, который характеризует вид и, к тому же, разли-

чается количественно, нельзя понять, не учитывая его роли в эволюции. Это в полной мере относится к интересующему нас вопросу о причинах длительности жизни и о сроках старения.

Все, что эволюционирует, всегда происходит за счет изменений в наследственности, т.е. в наборе наследственных факторов (генов), которыми обладают животные или растения. Эти генетические изменения, как известно, обязаны мутационному процессу и закрепляющему его естественному отбору и лишь изредка — случайному распространению генов и их дрейфу. Прямо или опосредованно, через физиологические звенья, они определяют все признаки организма. Некоторые же из генов влияют и на быстроту возникновения самих мутаций, т.е. изменений в отдельных генах или их группах. Поэтому обсуждать проблему продолжительности жизни мы начнем именно с эволюции и ее генетических механизмов.

### ЧТО ОПРЕДЕЛЯЕТ ВИДОВУЮ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ?

Часто о видовой продолжительности жизни судят по средней продолжительности жизни особей, составляющих данный

вид<sup>1</sup>. Однако эта величина непостоянна и зависит она прежде всего от смертности особей, или, говоря иными словами, от условий жизни. Наглядным примером может служить разная продолжительность жизни самих людей в разные исторические периоды и в разных странах. В последние десятилетия или даже столетия средняя продолжительность жизни человека увеличилась только за счет сокращения внешних причин, преждевременно обрывающих жизнь (голода, антисанитарных условий, эпидемий и пр.). Так, в нашей стране сейчас средний возраст составляет около 70 лет; по сравнению с дореволюционной Россией он увеличился на 30 лет. В конце 30-х годов средняя продолжительность жизни в Индии составляла всего 35 лет<sup>2</sup>, в то время как в Нидерландах она достигала 68 лет.

Таким образом, с улучшением быта и развитием медицины все случайные внешние причины постепенно отходят на задний план, но причины естественного старения остаются прежними. Устранив мысленно все внешние причины смертности, попытаемся определить потенциальную максимальную продолжительность жизни человека, т. е. тот предел, который предначертан организму его биологическими особенностями и наследственными потенциями. На этот счет пока нет единого мнения: одни считают, что эта величина составляет 95 лет, другие — 112—124 года, а если ориентироваться на долгожителей, получим 130—150 лет. Откуда берется такое расхождение?

Дело в том, что любая популяция животных или человека несет в себе определенное количество неблагоприятных мутаций, так называемый генетический груз. Вычисляя видовой срок жизни статистически, мы по существу определяем не максимально возможную продолжительность жизни, а тот срок, который характерен для популяции в целом, всегда несущей типичный для данного вида генетический груз. Но размеры генетического груза у отдельных особей варьируют вокруг средней для популяции величины. Долгожители, бесспорно, представляют со-

бой случай с минимальным генетическим грузом, и именно потому их индивидуальная жизнь оказывается более длительной, чем средняя величина жизни любой реальной популяции<sup>3</sup>. Значит, возраст долгожителей следует считать максимально приближенным к полноценной видовой продолжительности жизни человека.

Почему же мы, как правило, даже в наиболее благоприятных, по современным представлениям, условиях не доживаем до своего максимального возраста? Дело опять-таки заключается в генетическом грузе популяции. Ведь у всех видов животных и у человека все время идет мутационный процесс: прежний генофонд постоянно пополняется за счет новых мутаций, а мутации, как это видно из экспериментов и наблюдений, в огромном числе случаев неблагоприятны. Они, вызывая болезни, ослабление отдельных органов, сокращают сроки жизни. Все мы имеем больше или меньше таких неблагоприятных мутаций. Для судьбы вида в целом это не опасно. Естественный отбор постепенно удаляет избыток вредных мутаций, и средняя продолжительность жизни большинства особей достаточно велика для поддержания жизни и эволюции вида. Именно генетический груз уменьшает предельно возможные сроки жизни, которые при наиболее благоприятном сочетании наследственных факторов у человека были бы значительно большими. В то же время мы и сейчас видим людей, доживающих до 90 лет даже в наших городских условиях, далеких от наиболее благоприятной для человека среды. Но и в сельской местности продолжительность жизни человека может быть самой разной: от сравнительно малой до превышающей 100 лет. Так, среди разных областей Украины в 50-х годах наибольшая продолжительность жизни отмечалась в Полтавской области, хотя и там различные болезни, унаследованные от предков, значительно сокращали средний срок жизни по сравнению в максимально возможным. Интересно, что одновременно среди жителей Полтавской области реже всего наблюдалась близорукость.

## ЭВОЛЮЦИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ

Итак, продолжительность жизни вида, как и все прочие видовые признаки, при стандартных внешних условиях опреде-

<sup>1</sup> Средняя продолжительность жизни — это величина, получаемая путем деления общего числа лет, прожитых населением (от рождения), на начальную численность поколения, т. е. на число родившихся. Эта величина не зависит от возрастной структуры населения.

<sup>2</sup> В этих расчетах не учитывалась детская смертность до 1 года. В противном случае она бы составила 25 лет.

<sup>3</sup> Гаврилов Л. А., Гаврилова Н. С. // Докл. АН СССР. 1979. Т. 242. № 2. С. 456.



лена генетически. Возникает вопрос о направлении эволюции длительности жизни и о механизмах, определяющих старение и гибель организма. В свое время А. Вейсман, а за ним и Н. К. Кольцов высказали мнение, что в природе у животных эволюция идет в сторону укорочения жизни<sup>1</sup>. Объясняли они это тем, что при быстрой смене поколений быстрее приобретаются новые полезные признаки, ценные для выживания вида. Значит, чем короче век особой данного вида, тем сам вид в целом приспособляется к меняющейся среде скорее и оказывается более жизнеспособным, постепенно вытесняя виды с медленно сменяющимися поколениями, т. е. с большей продолжительностью жизни.

Известно, что продолжительность жизни у животных в значительной степени определяется естественным отбором. Млекопитающие, несмотря на свое высокое развитие, отнюдь не отличаются большим долголетием по сравнению с некоторыми птицами, рептилиями и рыбами. Причем у сравнительно близких видов продолжительность жизни сильно различается: так, крысы живут 2,5 года, зайцы — 8—15 лет, бобры — до 30 лет. Если мы обратимся к палеонтологии, то увидим, что среди млекопитающих в прошлом были виды, представленные крупными особями, хотя одновременно существовали и виды, состоящие из мелких форм. Однако виды-гиганты, иногда, правда, после длительного расцвета, как правило погибали, и на смену им приходили новые, опять мелкие виды. Повидимому, виды «великаны» отличались длительным индивидуальным развитием и редкой сменой поколений, что существенно замедляло их изменение в процессе естественного отбора. В этом случае долголетие, связанное с замедленной сменой поколений, могло выступать как биологически неблагоприятный признак, выгодный для особи, но невыгодный для жизни вида в целом.

Если это верно, то можно думать, что в природе идет эволюция на быструю смену поколений, которая обеспечивается быстрыми созреванием животных и уменьшением сроков их жизни. Такая позиция объясняет, почему млекопитающие, имеющие высокую организацию, не отличаются особым долголетием и почему короткая жизнь крысы вовсе не свидетельствует о ее малой приспособленности.

Однако бесспорно и то, что далеко не все даже прогрессивные виды животных шли по пути сокращения продолжительности жизни. Чем же можно объяснить, что существуют долгоживущие виды? Очевидно, на определенном этапе эволюции у отдельных видов животных большие размеры оказывались более выгодными в борьбе за существование, чем ускорение эволюции.

Известно, что виды животных, имеющих большие размеры тела, живут дольше. Таковы, например, среди млекопитающих слоны. Да и человек, относящийся также к млекопитающим, принадлежит к категории крупных организмов и относится наравне со слонами к наиболее долгоживущим организмам по сравнению с большинством млекопитающих.

С увеличением размеров неизбежно увеличиваются сроки развития, но увеличение размеров, так сказать, окупается, если долгоразвивающееся животное и живет долго.

Большие размеры, действительно, дают часто временное преимущество в борьбе с хищниками, в конкуренции самцов за самку, в возможности дальних передвижений при наступлении неблагоприятных условий в поисках лучших мест обитания. Такое преимущество и приводит иногда в эволюции вида к увеличению размеров. Однако это преимущество в дальнейшей конкуренции с другими видами оказывается эволюционно ненадежным, и более мелкие особи рано или поздно, благодаря более быстрой смене поколений, лучше гигантов приспособляются как к чисто внешним условиям, так и к борьбе с инфекциями, а иногда и к прямой борьбе с медленно эволюционирующими гигантами. И тогда для «великанов» наступает трагический конец. Но вновь появляются крупные особи, происходящие из видов, прежде представленных небольшими формами; их большие размеры, хотя и на сравнительно короткий срок (с точки зрения эволюции), оказываются важнее быстрой эволюции. И снова дело кончается тем, что потребности дальнейшего приспособления берут верх над «сиюминутными» преимуществами больших размеров (хотя эти «минуты» в эволюции могут измеряться миллионами лет).

Насколько важно ускорение эволюции для совершенствования адаптивных способностей вида, можно проследить на насекомых, не случайно ставших самой обширной группой животного царства. За счет быстрой смены поколений и интен-

<sup>1</sup> Weissmann A. *Über Leben und Tod*. Jena, 1884. Кольцов Н. К. *Организация клетки*. М.: Л., 1936.

сивного отбора многие их виды достигли высокого совершенства. Ярким примером здесь может служить богатство пигментов у ряда насекомых, далеко превосходящее таковое у млекопитающих. Об этом говорит также и быстрота зрительного восприятия (насекомые различают до 200 мельканий в секунду), и реакции их нервной системы, и быстрота сокращения и сила мышц и т. д. Однако целый ряд функций насекомые не смогли развить достаточно полно из-за того, что их покровы и система дыхания лимитировали возможность дальнейшего увеличения размеров. На ограничение их размеров в эволюции специально указывал в своей превосходной работе С. С. Четвериков<sup>5</sup>.

Чтобы изучить причины, обуславливающие повышенную продолжительность жизни некоторых видов, нужно установить, какие еще признаки связаны с увеличением срока жизни. Для этого мы решили посмотреть, как разные признаки коррелируют с продолжительностью жизни отдельных видов и с другими признаками. Еще в 30-е годы нашего столетия С. А. Северцов изучил связь между продолжительностью жизни и плодовитостью млекопитающих и других классов позвоночных, установив обратную зависимость между этими величинами<sup>6</sup>.

На основании имеющихся в зоологической литературе сведений мы также решили изучить корреляции большого числа признаков у различных видов млекопитающих, используя тот же метод математической статистики, но для выяснения других связей. Как известно, в ряде случаев при изучении биологических закономерностей — это единственный метод, позволяющий установить иначе не обнаруживаемые закономерности.

Наши ориентировочные данные показали, что большую продолжительность жизни имеют виды, обладающие высоким интеллектом и крупными размерами. В последующее исследование были включены более 100 видов млекопитающих и рассмотрены такие признаки, как сроки беременности и созревания, численность потомства, размеры (масса) тела, степень выраженности коллективного образа жиз-

ни, показатель развития мозга (коэффициент цефализации)<sup>7</sup> и др.

Среди изученных признаков имеется несколько, тесно связанных между собой и с продолжительностью жизни: это размеры тела животного, длительность беременности, возраст созревания, численность потомства и показатель развития мозга. Однако некоторые из этих признаков по существу связаны с отдельными отрезками жизни, т. е. прямо или косвенно входят в общую длительность жизни, и уже этим автоматически определяется их связь. Тем не менее оказалось, что с продолжительностью жизни коррелируют также признаки, вовсе не связанные непосредственно с продолжительностью жизни. Это прежде всего коэффициент цефализации и размеры особей. Корреляция была очень большой для биологических объектов: коэффициент корреляции продолжительности жизни с размером особи — 0,82 и с интеллектом — 0,75<sup>8</sup>.

Хотя высокая цефализация и большие размеры тела мало связаны между собой, но от них зависит замедление роста и продление жизни. В чем же здесь дело? Именно те преимущества, которые дают животному большой размер тела и высокое развитие центральной нервной системы, очевидно, особенно препятствуют полезному в других отношениях быстрому созреванию и сокращению жизни каждого поколения.

Таким образом, в эволюции долготы у млекопитающих реально сталкиваются две тенденции: основная — на укорочение сроков жизни и противоречащая ей тенденция — на увеличение размеров тела и на развитие высшей нервной деятельности, приводящих к удлинению жизни особей данного вида.

О значении больших размеров особей мы уже говорили. Понятно, что увеличение размеров, давая большие преимущества крупным животным, требует и более долгой жизни, хотя бы для развития и роста. Но такая польза в дальнейшем оправдывается только при условии, если

<sup>5</sup> Четвериков С. С. Основной фактор эволюции насекомых // Проблемы общей биологии. Новосибирск, 1983. С. 227—235.

<sup>6</sup> Северцов С. А. О взаимоотношении между продолжительностью жизни и плодовитостью различных видов млекопитающих. М., 1930.

<sup>7</sup> Показатель, или коэффициент, цефализации служит прямой оценкой уровня развития центральной нервной системы, хотя и основан на чисто морфологических величинах. В нашей работе мы использовали одну из модификаций коэффициента цефализации (несколько упрощенную), а именно: отношение квадрата массы головного мозга к абсолютной массе тела.

<sup>8</sup> Корчагин Н. В., Малиновский А. А. и др. Межвидовые корреляции у млекопитающих // Некоторые проблемы теории эволюции. М., 1973. С. 101.

крупные животные могут жить достаточно долго, чтобы это преимущество оказалось полным.

Не менее важно здесь и развитие высшей нервной деятельности. Чем лучше она развита, тем в большей мере животное приспосабливается к среде, изменяя поведение, тем более ценен накопленный за долгую жизнь опыт животного и тем меньше необходимость в прямом морфологическом и физиологическом приспособлении к изменяющимся условиям. Высокая организация мозга также требует более длительного развития. Это понятно: во-первых, с морфологической точки зрения, мозг развивается медленно, а во-вторых, чем выше интеллект, тем большую роль играет накопленный опыт, дающий преимущества виду только с увеличением возраста.

Таким образом, теоретические соображения А. Вейсмана и Н. К. Кольцова в нашей работе полностью подтвердились. Действительно, если нет особых условий, противоречащих эволюционной тенденции к укорочению жизни, то вид развивается именно в этом направлении. Конечно, та же тенденция распространяется и на крупные виды с высоким развитием мозга. За сравнительно долгие эволюционные периоды у них устанавливается некоторое равновесие между преимуществом быстрой эволюции и преимуществами большой массы и высокого интеллекта. Если это верно, то можно предположить, что у человека, который отличается от любого биологического вида появлением социальной эволюции, теперь возникли огромные преимущества, связанные с появлением науки, техники и т. д. В этих условиях ускорение биологической эволюции за счет сокращения сроков жизни теряет свою актуальность. По-видимому, в ходе эволюции наших предков в связи с выходом на достаточно высокий интеллектуальный уровень человек занял особое положение, в котором биологические факторы, влияющие на продолжительность жизни, перестали играть первостепенную роль. Значит, теперь надо искать другие причины, ограничивающие сроки жизни человека, и постараться их устранить.

#### ПРИЧИНЫ, СОКРАЩАЮЩИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ ВИДА

Рассматривая разные виды животных, даже не очень далеко отстоящие друг от друга в филогенетическом отношении, например только млекопитающих,

мы видим, что причины их смерти различны. Так, кролики часто предрасположены к атеросклерозу, а у крыс, напротив, такого предрасположения нет. У человека такие различия хорошо проявляются индивидуально: существуют категории людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, злокачественными образованиями, наследственными поражениями каких-либо органов или инфекционными болезнями. И причиной преждевременной гибели становится нарушение в какой-то одной подсистеме организма. Этот факт хорошо объясним с позиций системного подхода: если нарушена хотя бы одна из подсистем целой жесткой системы, организм не может существовать.

Понять общие механизмы, приводящие любой организм к старости и смерти, помогают эксперименты на лабораторных животных. Однако переносить на человека эти результаты можно лишь после тщательной проверки, так как зачастую первичные причины конечного поражения организма могут оказаться разными.

Что же общего в причинах снижения эффективности той или иной подсистемы, необходимой для жизни всего организма?

Нам представляется чрезвычайно важным вопрос о приспособлении различных функций организмов друг к другу и к факторам внешней среды. Поражает вот что. Под влиянием стресса и веществ, которые действуют на организм аналогично стрессу, повышается функциональный уровень всех подсистем. Значит, в обычном состоянии организм не использует все свои резервы? Хотя, казалось бы, любому животному выгоднее всегда быстрее бегать, лучше видеть, иметь больше сил для борьбы с врагами или в погоне за жертвой. Почему же организм мобилизует свои силы полнее лишь в особых условиях, в самых крайних ситуациях?

По-видимому, в таком ограничении функциональных возможностей имеется глубокий смысл, и превышение средних способностей допустимо лишь в виде исключения — в особых условиях. Справедливость этого заключения подтверждается многими фактами. Хорошо известно, что перегрузка зачастую приводит к большой изнашиваемости всех тканей, они становятся более уязвимыми для инфекций, все чаще подвергаются дегенеративным изменениям.

В 60-х годах в Одесском институте глазных болезней и тканевой терапии им. В. П. Филатова Г. В. Панфилова

провела интересный эксперимент по изучению влияния торможения и возбуждения центральной нервной системы на патологические процессы, вызванные инфекцией. Опыт проводили на трех группах кроликов, которым в роговицу глаза вносили вирус герпеса: первая — была контрольной, вторая — получала снотворное, вызывающее торможение, и третья — получала фенамин, сильно возбуждающее средство. Исходя из теории И. П. Павлова, согласно которой сон (т. е. торможение высшей нервной деятельности) полезен при лечении неврозов, многие исследователи тогда предполагали, что воспалительный процесс при торможении центральной нервной системы будет протекать легче. Результаты опытов показали обратное: легче всего процесс протекал при повышенной возбудимости, в заторможенном же состоянии, напротив, тяжелее.

Кроме того, оказалось, что вирус герпеса может вызывать и энцефалит. В этом случае, наоборот, особенно поразились животные в состоянии возбуждения (в контрольной же группе заболел один кролик из 20, а в группе, получавшей снотворное, заболевших не было совсем). Значит, высокая активность центральной нервной системы облегчает состояние периферических органов (например, роговицы), но при этом у самой центральной нервной системы сопротивление к инфекции снижается. Этот эксперимент показал, что перегрузка функций опасна; именно поэтому организм пользуется ею только в крайних случаях.

С некоторым приближением можно сказать, что у каждого органа и организма в целом есть три уровня функционирования: нормальный, минимальный (сон и близкие к нему состояния) и максимальный. Минимальный уровень необходим для восстановления тех затрат и нарушений, которые происходят во время нормальной или повышенной функции. Максимальный уровень позволяет в экстремальных условиях спасти жизнь организму или обеспечить ему более успешную борьбу за потомство. В норме, при обычных условиях, организм сохраняет способность приспосабливаться к внешней среде и сопротивляться ее неблагоприятным влияниям.

В чем же заключается различие между нормальным и стрессовым состоянием? С одной стороны, это связано с тем, что повышенная функция одной какой-нибудь подсистемы влечет за собой повышение функций и других подсистем: например, при беге для усиления мы-

шечной работы нужна дополнительная энергия. Это значит, что повышается давление в артериях и капиллярах, увеличивается содержание сахара в крови и т. д. С другой стороны, при нормальной работе органов в каждый момент участвуют одновременно не все клетки, не все мышечные волокна в мышце, не все зрительные клетки сетчатки. Уставшие клетки временно выбывают на отдых, их заменяют другие, которые уже успели восстановить свои силы.

Это хорошо иллюстрируется на работе органа, который, пожалуй, наиболее доступен для такого исследования, — на органе зрения. И это было показано при изучении остроты зрения в норме и в условиях стрессовой ситуации, т. е. с угрозой наказания за невыполненное задание в виде неприятного грохота. В такой стрессовой ситуации острота зрения повышалась почти вдвое. Конечно, здесь могли действовать и другие причины: большая напряженность внимания, допущение известного риска при определении положения разрыва в так называемых кольцах Ландальта — фигур, заменяющих буквы, которые используют на обычных таблицах для определения остроты зрения.

Мы повторили этот эксперимент, но, чтобы избежать действия побочных факторов, отменили наказание. Стрессовое состояние в нашем опыте достигалось болевым раздражением до испытания, благодаря чему испытуемый не стремился специально повышать остроту зрения. Более того, болевое раздражение в данном случае играло скорее роль отвлекающего фактора, ослабляющего внимание. И все же мы также наблюдали увеличение остроты зрения, хотя и меньшее, чем в опытах предшественников (на 25 %).

Что же означает этот эксперимент? Острота зрения обусловлена расстоянием между функционирующими зрительными клетками (колбочками) таким образом, что минимальное расстояние, на котором человек различает две точки, определяется именно промежутками между работающими клетками. Если при стрессовом состоянии острота зрения увеличилась, значит, промежутки между работающими клетками становились меньше, чем в норме. Значит, повышение функций при стрессе обеспечивается включением в работу дополнительных клеток.

По-видимому, это положение справедливо и для других тканей. Здесь можно привести и другой, более общий,

уже ставший классическим пример. Во время блокады в Ленинграде, в тяжелых условиях люди при скудном питании все время находились в состоянии крайнего напряжения. Оно поддерживалось, в частности, и повышенным кровяным давлением. В результате постоянной перегрузки была нарушена система регуляции кровяного давления и у огромного числа ленинградцев развивалась гипертония, которую потом так и называли блокадной.

Это еще раз доказывает, что функциональная перегрузка за известными пределами, безусловно, вредна. Значит, стрессовое состояние с максимальным повышением функций невыгодно организму, приводит к быстрому его изнашиванию и, следовательно, к преждевременной гибели, т. е. к сокращению продолжительности жизни.

Однако в условиях, когда жизнь нужно сохранить в данный момент, все отдыхающие клетки мобилизуются, чтобы спасти положение для данного организма на будущее.

Но вернемся опять к меньшим нашим братьям. Стрессовые ситуации возникают здесь ничуть не реже, например, в борьбе за самку, в борьбе с врагом и т. д. Что же происходит у мелких животных, легко погибающих от неблагоприятных внешних условий, в частности у насекомых? Допустим, что продолжительность их жизни значительно больше, чем они живут реально. Однако они не могут прожить всю жизнь целиком, так как обстоятельства существования все равно, как правило, приводят их к ранней гибели. В такой ситуации должны выживать именно те особи, которые мобилизуют все свои силы, чтобы выжить в неблагоприятных условиях. Они потенциально сокращают свой срок жизни тем, что с самого начала жизни превышают наиболее выгодный для долголетия уровень всех функций. Но ведь они все равно, как правило, не доживают до полного физиологически возможного предела жизни, все равно внешние условия их губят раньше. Значит, повышая функциональный уровень в своем коротком существовании, они даже несколько продлевают его, так как увеличивают свои возможности в борьбе с опасностями. Таким образом, естественный отбор опять-таки будет идти в сторону сокращения потенциальной длительности жизни. Создается компромисс между необходимостью выжить в настоящий момент и необходимостью сохранить длительность жизни вида. Но в этой ситуации потенциаль-

ная длительность жизни оказывается менее важной: ведь она все равно не реализуется, и сокращение жизни идет уже не прямо, как мы предполагаем у крупных животных, а за счет повышения мобилизационной способности функциональных систем.

Чем же объяснить сокращение жизни при повышении функций? Как мы уже говорили, любое отклонение внутренней среды каждой отдельной клетки невыгодно для сохранения нормального генофонда. Нормальный генотип лучше всего сохраняется при условии длительной устойчивости внутренней среды организма и клетки. Сильная перегрузка в работе отдельных органов или даже клеток приводит к изменению внутренней среды организма, что, по некоторым данным, ведет к ряду нарушений во всех клетках организма, при которых увеличивается частота возникновения в них мутаций, как правило, неблагоприятных.

Несмотря на общую эволюционную тенденцию, направленную на сокращение видовой длительности жизни, имеется целый ряд видов долгожителей — некоторые виды птиц, некоторые животные, обитающие в воде, в том числе некоторые рептилии и рыбы, вовсе не отличающиеся большими размерами и особенно высоким интеллектом. Так, по известным сведениям, в подмосковных прудах в XX в. вылавливали отдельные экземпляры щук, окольцованных еще при царе Алексее Михайловиче, т. е. в XVII в. Если верить таким сообщениям, то возраст щук может достигать 250 лет. Более надежные данные имеются о гигантских морских черепахах, доживающих примерно до 300 лет. В чем же тут дело? Прежде чем искать ответ на этот вопрос, заметим, что мы сравниваем лишь крайние долгоживущие формы различных классов позвоночных. Среди рыб, рептилий и птиц, как и среди млекопитающих, есть формы и с очень коротким сроком жизни. Выбирая самые долгоживущие виды, известные нам в каждом из классов, мы тем самым выясняем как бы возможный потолок длительности жизни, который может быть достигнут отдельными видами данного класса. Это вовсе не означает, что такую долгую жизнь может прожить большинство видов рассматриваемых классов.

У млекопитающих верхний предел продолжительности жизни существенно ниже — не более 100 с небольшим лет у слона и человека. Разница, как мы видим, по сравнению, например, с рыбами и черепахами огромная. В чем ее причина? Скорее

всего, это можно объяснить тем, что водные животные обитают в более экологически устойчивой среде. На суше и климатические и, тем более, сезонные колебания температуры и других условий значительно больше, чем в воде. А это, в свою очередь, означает, что необходимость быстрой перестройки у водных организмов возникает значительно реже, чем у наземных животных, что и сказывается на эволюции длительности жизни в целом.

В основе долголетия птиц (по некоторым литературным источникам, вороны и попугаи доживают до 100 и более лет), по-видимому, лежат несколько иные причины, хотя и они тоже связаны с быстрой адаптацией к изменяющимся условиям. Способность к дальним перелетам позволяет им, не меняя путем отбора признаков, отыскивать для себя в сравнительно отдаленных районах условия, сходные с оптимальными. Это объяснение годится не только для перелетных птиц, хотя у них адаптация затруднена сложностью регулярной смены условий.

К сожалению, мы еще недостаточно знаем о предельных сроках жизни многих животных для того, чтобы найти истинные причины той или иной продолжительности жизни и более уверенно определить вектор эволюции этого признака.

## ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА И СТАРЕНИЕ

Как мы уже говорили, коренное отличие эволюции человека от эволюции животных заключается в появлении социальной эволюции. Не рассматривая всех ее деталей, скажем лишь одно: она, безусловно, продлила жизнь далеко за те пределы, которые в среднем определялись биологическими условиями, т. е. гибелью большинства представителей вида задолго до полного изнашивания организма под влиянием неблагоприятных условий среды. Это различие настолько глубокое, что оно во многом изменило роль отдельных факторов в эволюции возраста вида в целом. Так, в ряде случаев свойства, которые раньше были полезными, под влиянием новых условий социального развития приобрели противоположное значение.

Во-первых, сильно увеличилась роль интеллекта, а вместе с ней возросла ценность долгой жизни, позволяющая накапливать и развивать знания, ранее недоступные человеку, но имеющие большое значение теперь как для человечества в целом, так и для отдельных его представителей. Поэтому эволюция в сторону сокра-

щения жизни на социальном этапе сама по себе потеряла значение.

Во-вторых, на ранних биологических этапах эволюции было очень важно, как можно раньше оставить потомство и, следовательно, как можно раньше достигнуть полового созревания. Это и понятно: ведь при короткой жизни, ограниченной внешними факторами, вид мог остаться без достаточно обширного потомства, что, безусловно, ослабляло бы генофонд, и даже могло привести к вымиранию вида.

В нашу эпоху эта опасность почти миновала, поэтому (и не только поэтому) браки заключаются позже или же позже является потомство. Кроме того, в развитых странах устранены такие факторы, как голод, опустошающие эпидемии и т. д. Потеряла свое главенствующее значение и физическая сила, и многие другие особенности, раньше игравшие решающую роль в борьбе за существование.

Как это все отразилось на современном человеке? По мнению некоторых исследователей, повышенная сексуальность и раннее созревание не способствует продлению жизни. Напротив, наблюдая отдельные этнические группы, отличающиеся повышенным долголетием, например абхазов, ряд антропологов и энтографов отмечают у них позднее созревание, нормальную, но не повышенную сексуальность, длительное сохранение репродуктивной функции. По-видимому, это действительно свидетельствует о положительной роли снижения сексуальности в наше время.

Продление жизни благодаря новым внешним условиям привело еще к одному важному следствию. В биологической эволюции человека при его ранней смертности шел отбор на здоровье, на сопротивление болезням только в первые десятилетия жизни. В настоящее время, напротив, отмечается увеличение целого ряда заболеваний в более позднем возрасте (в первую очередь рака). Врачи объясняют этот факт тем, что раньше большинство людей не доживали до «своего» рака. Теперь же, когда количество инфекционных болезней резко снизилось, человечество стало страдать от других недугов. Кроме рака, большую лепту в сокращение жизни человека вносят заболевания с наследственным предрасположением, такие как сердечно-сосудистые, диабет, гипертония, глаукома и многие другие.

Есть три периода в жизни человека, когда наследственные заболевания проявляются наиболее часто. Первый период — при рождении — связан с тем,



что ребенок переходит в новую, менее благоприятную, чем внутриутробная, среду; здесь начинают проявляться накопленные ранее в эмбриональном периоде дефекты, которые в то время компенсировались организмом матери. Второй период — половое созревание и окончательное формирование человека, когда крутая перестройка всего организма предъявляет повышенные требования; в этот период часто развиваются нарушения. И, наконец, последний период — старость, — до которой раньше, как правило, человек не доживал, характеризуется болезнями старческого и пожилого возраста.

И здесь одним из существенных моментов должна стать профилактика заболеваний пожилого возраста, особенно если в семье прослеживается предрасположенность к какому-либо определенному заболеванию, будь то гипертония, нарушение сердечной деятельности, инфекционные болезни и т. д.

Однако помимо наследственных факторов большое значение в продлении жизни имеют также и другие биологические факторы; особенно в то время, когда большую роль играл естественный отбор. Тогда, наверное, и развивалась тенденция экономии сил. Когда первобытный человек не голодал, не находился в опасности, не должен был заботиться о продолжении рода, он бездействовал. Необходима физическая работа всегда и так с избытком стимулировалась внешними воздействиями: поисками пищи, борьбой с хищниками, борьбой за брачного партнера. Недостатка в такой стимуляции не было, а времени для отдыха наших далеких предков было мало. Теперь эта тенденция, когда-то полезная, становится иногда важным отрицательным фактором, особенно в больших городах.

Мы стремимся отдыхать с избытком потому, что нашим предкам это было необходимо. Но отдыхаем мы подчас гораздо больше, чем нужно, по крайней мере, в отношении физической нагрузки (что мы часто называем ленью), и это отражается на нашем здоровье. Безусловно, это относится не ко всем: сюда не входят спортсмены, люди, занятые на производстве тяжелым физическим трудом, а также очень активные люди. Однако таких меньшинство, поэтому необходимо найти некую оптимальную физическую нагрузку, обеспечивающую наилучшее состояние организма.

Есть целый ряд других склонностей у человека, которые также обусловлены прошлой эволюцией. Например, некоторые

долгожители употребляют очень мало соли (это относится в первую очередь и к уже упоминавшимся абхазам). Почему же мы так любим соль?

По-видимому, когда-то в пищевом рационе человека, впрочем, как и у целого ряда животных, соли было меньше, чем это необходимо. Потом человек получил возможность пользоваться солью неограниченно, а повышенная потребность предков в соли, имевших ее так мало, перешла к нему по наследству. Она у них не имела верхнего предела, так как он, как правило, не достигался и регуляция против избытка не вырабатывалась.

Некоторые привычки, появившиеся когда-то у человека, теперь утратили свое положительное значение и, более того, стали даже вредными в наше время. Сюда же можно отнести, например, склонность к возбуждению вином и к успокоению курением. На первых этапах социальной эволюции они не приносили отчетливого вреда, так как действие их нарастает сравнительно медленно. Большинство представителей человечества не доживали до возраста, когда отрицательные последствия могли сказаться явно, аналогично тому как мы даже и сейчас не всегда доживаем до наших наследственных болезней. Но продолжительность жизни современного человека такова, что вредное влияние дурных привычек теперь уже успевает проявиться, в частности, укорачивая нашу жизнь.

Обращая внимание на чисто биологические наклонности, выработанные нами в прошлом, необходимо учитывать, что на нашем этапе социальной эволюции мы должны сознательно регулировать эти, ставшие для нас неблагоприятными, наклонности, поскольку они не соответствуют нашему времени, нашей длительности жизни и нашей обеспеченности всеми необходимыми условиями.

Таким образом, эволюционный подход, включающий не только биологическую, но и социальную эволюцию, позволяет нам выявить противоречия между этими двумя важными этапами, в целом составляющими эволюцию современного человека, чтобы учитывать изменения потребностей человека и тем самым способствовать продлению его жизни. Такой эволюционный подход к проблеме долголетия позволяет также правильно подойти и к проблеме старения, представить себе механизм этого процесса, что само по себе очень важно. Ведь прежде чем бороться со старением, нужно знать причины, его вызывающие. Но это уже тема для другой статьи.

## Из переписки А. А. Любищева и П. Г. Светлова. 1936—1969\*

Вниманию читателей «Природы» предлагается подборка из переписки двух выдающихся ученых — доктора сельскохозяйственных наук Александра Александровича Любищева [24.III [5.IV] 1890 — 31.VIII 1972] и члена-корреспондента АМН СССР, лауреата Государственной премии СССР Павла Григорьевича Светлова [29.VIII [10.IX] 1892 — 7.VII 1974], которые дружили и переписывались в течение 50 лет.

По профессии А. А. Любищев и П. Г. Светлов были биологами, однако они отнюдь не замыкались в рамках своей специальности. Александр Александрович, помимо энтомологии, занимался математической биологией, морфологией, систематикой, теорией эволюции, общей биологией. С юных лет перед ним стояла как бы сверхзадача: построить новую теоретическую биологию не на представлении о лежащем в основе жизни хаосе, а на представлении о гармонии и порядке в мире. Стремление к этой цели многое определило в его жизни и работе. В рецензии на сборник статей А. А. Любищева академик Б. Г. Соколов так характеризует принципы ученого: «Он считал, что биология должна следовать образцу точных наук. На место расплывчатых объяснений, даваемых биологическим явлениям «задним числом» и не имеющих предсказательной силы, надо поставить законы, точно и кратко описывающие как строение организмов, так и эволюционные изменения... Идеалом систематики он считал Периодическую

таблицу элементов Менделеева»<sup>1</sup>.

Невероятная трудность поставленных задач рождала необходимость критики современных направлений в биологии; у А. А. Любищева при этом теоретический анализ непременно переходил в философский. Для него философия всегда была действенным инструментом мышления, помогающим освоить, а иной раз и переосмыслить самые сложные вопросы и понятия.

Яркая личность Александра Александровича привлекла к себе внимание людей самых разных профессий. Писатель Д. А. Гранин написал о нем повесть «Эта странная жизнь». Многочисленные публикации появились в журналах, в том числе и в «Природе»<sup>2</sup>. Почти сразу же после смерти А. А. Любищева среди его друзей возникла идея написать о нем книгу. Редактором ее стал П. Г. Светлов. К сожалению, книга эта вышла уже после кончины Павла Григорьевича<sup>3</sup>.

Корреспонденту А. А. Любищева П. Г. Светлову в не

меньшей степени были свойственны высокая культура мышления и широта познаний. Основной специальностью Павла Григорьевича была эмбриология: сравнительная, экспериментальная, медицинская. Но в круг его интересов были включены систематика и фаунистика, сравнительная анатомия и эволюционная теория, генетика и история науки — перечень можно продолжить. Он внес значительный вклад в разработку таких проблем, как дифференциальная чувствительность полов к голоданию и патогенным воздействиям, влияние ионизирующей радиации на течение беременности и развитие зародыша, реализация наследственных факторов в онтогенезе, проблема органической индивидуальности и др.

Острый аналитический ум сочетался в нем с даром широчайшего синтеза. Как и для А. А. Любищева, философия была для него факелом, освещающим путь науки. Сочетая в себе таланты натуралиста и мыслителя, П. Г. Светлов отличался глубоким целостным видением мира. Он прекрасно знал всемирную историю, художественную литературу, историю искусства, владел несколькими древними и современными языками, был одарен музыкально. Его перу принадлежат очерки о жизни и деятельности многих советских биологов — П. П. Иванова, В. Н. Беклемишева, Д. М. Федотова и др.

П. Г. Светлов и А. А. Любищев публиковались в «Природе». Статья П. Г. Светлова «Учение об организаторах и теория развития» появилась в № 1 за 1935 г. Три работы А. А. Любищева были помещены в 70-е годы: статья «Значение и будущее систематики» (1971, № 2); отрывок из доклада на III съезде

<sup>1</sup> Соколов Б. С. Полвека размышлений о биологии // Природа. 1983. № 6. С. 119. Рецензия на книгу: Любищев А. А. Проблемы формы, систематики и эволюции организмов. Сб. статей. М.: Наука, 1982.

<sup>2</sup> См., напр.: Мейен С. В., Шрейдер Ю. А. Биологические парадоксы А. А. Любищева // Природа. 1973. № 10. С. 38—41; Скворцов А. К. Давняя дискуссия и современность // Природа. 1983. № 6. С. 74—76.

<sup>3</sup> Александр Александрович Любищев. 1890—1972 / Под ред. П. Г. Светлова. Л.: Наука, 1982.

\* Печатается с сокращениями по архивным материалам А. А. Любищева, хранящимся в Ленинградском отделении Архива АН СССР, ф. № 1033, оп. 3.



А. А. Любицев

зоологов (1927) «Понятие номогенеза» и отрывок из письма академику АН УССР Н. Г. Холодному «Дарвинизм и недарвинизм» [1973, № 10]. В 1983 г. «Природа» в № 6 напечатала фрагменты из переписки Б. С. Кузина и А. А. Любицева о систематике.

В предлагаемой здесь переписке, любезно предоставленной журналу доктором физико-математических наук Р. Г. Баранцевым, который является одним из тех, кого А. А. Любицев просил позаботиться о своем архиве, обсуждаются проблемы инвариантов, рационализма, вероятностного понимания мира, т. е. проблемы, которые важны именно для общей теории биологии безотносительно к личным мировоззренческим позициям ученых (А. А. Любицев отчасти был представителем номогенеза, а П. Г. Светлов — сторонником дарвиновского учения). Немалый интерес представляют и размышления о функциях редакторов при отборе материалов для публикации. В каждом отдельном случае А. А. Любицев и П. Г. Светлов умели найти точные, единственно нужные слова, с которыми они обращались друг к другу — шла ли речь о началах философии или о поздравлении с юбилеем. Поразителен в переписке сам стиль общения, тот «гамбургский счет», который предьявляют к себе ученые, и то, что принято называть культурой



П. Г. Светлов

мышления. Думается, что читателю будет не только интересно включиться в философскую дискуссию, которую вели между собой А. А. Любицев и П. Г. Светлов, но и ощутить высокую атмосферу нравственности, вне которой была немислима их жизнь.

### П. Г. Светлов — А. А. Любицеву 1 11. 1936

⟨...⟩ «Пробабелизм»<sup>1</sup> изложен пока так, что понятность его может быть ясна только автору. Для того чтобы увлечь кого-нибудь философией, главным свойством которой декларируется то, что «в ней не будет ничего достоверного», — нужна убедительная мотивировка ее преимуществ. Скептицизм рождается или от отчаяния

в возможности решения задачи более удовлетворительным способом, или от озорства. Нужно доказать, что это и не то, и не другое. Но, конечно, может быть, разговор об этом и преждевременен, пока не создана сама система «китового плавника»<sup>2</sup>, — указано лишь, что такая система мыслима, в чем спору нет, и указание это интересно. Но боюсь я одного: когда «пробабелизм» будет построен, то окажется, что он ничем не отличается в конечных выводах от материализма. Плавник этот может оказаться очень прочным, и сломить его может быть не легко. ⟨...⟩

Вспомни изречение Лейбница: «Мир устроен так, как будто...» и т. д. Суть в том, что, если учитывать лишь вероятное

<sup>1</sup> Речь идет о рукописи А. А. Любицева «Разбор «Критики чистого разума» Канта», в которой автор, критикуя аподиктические (безусловные, абсолютные) начала философии, противопоставляет им теорию вероятности (в его терминологии — пробабелизм, от лат. *probabilis* — вероятный, возможный).

<sup>2</sup> «Плавник кита» — пример прочного, построенного из непрочных элементов.

(т. е. события и возможности, наступление или реальность которых не ниже какой-то условной нормы вероятности), то мир теряет все краски. На самом деле — мир чудесен в буквальном смысле слова. Тайна — невероятность — прежде всего, и к этой области относятся все главные события, определившие бытие нашего мира: происхождение жизни, человека и т. д. Более того, развитие каждого лягушачьего яйца — путь от более вероятного к менее вероятному состоянию. Учитывать реальное по степени его вероятности — чудовищно! Скорее можно делать наоборот. Не заняться ли тебе философией импробабиллизма — это к тебе более подошло бы по характеру. (...)

**А. А. Любищев — П. Г. Светлову**  
28.11.1936

(...) Начну... с критики моих суждений о пробабиллизме. Тебе кажется, что никто не может быть увлечен философией, главным свойством которой декларируется то, что в ней нет ничего достоверного. Читатель ожидает, что пишущий подобные строки, очевидно, защищает философию достоверного, т. е. кого-либо из тех философов, которые предполагают строить здание на абсолютно прочном фундаменте. Но читатель твоего письма будет жестоко разочарован, когда он увидит в дальнейшем, что ты обвиняешь пробабиллизм не в недостатке достоверности, а в избытке ее и предлагаешь мне заняться философией импробабиллизма на том основании, что мир чудесен в буквальном смысле этого слова. Тут уж настает моя очередь удивляться: кто может быть увлечен философией, строящей свои положения на невероятных утверждениях? Я таких лиц не знаю, и предложение заняться философией импробабиллизма есть одно из высших достижений интеллектуального озорства. Придется все это несколько развить.

Во-первых, относительно пробабиллизма: являюсь ли я в этом отношении оригинальным? Я отнюдь себя не считаю таковым и, если в этой статье не делал ссылок, то только потому, что статья отнюдь не предназначена для печати, и потому, что позицию пробабиллизма я защищал в докладе о понятии причинности, сделанном в свое время в Перми (ты на нем, кажется, присутствовал), и указывал (не называя ее пробабиллизмом) на

родство ее с диалектической философией... Одно из положений диалектической философии и заключается (насколько я его понимаю) в том, что мы не можем постигать изолированные суждения о мире, а всегда целый комплекс суждений, и достоверность такого комплекса всегда является предельным понятием; следовательно, все наши суждения без исключения только вероятны, но никогда не достоверны (они переходят в достоверные только при абсолютном познании мира, т. е. в пределе). Блестящим примером такого диалектического мышления в физике мне кажется Дюгем<sup>3</sup>, который, например, утверждает, что эксперименту круцис<sup>4</sup> есть вещь невозможная, так как, когда нам кажется, что мы проверяем конечное возможное число гипотез, на самом деле мы выбираем некоторые гипотезы, стоя на определенной плоскости мышления, которая нам кажется совершенно обязательной, но которая есть на самом деле тоже некоторая гипотеза, хотя и достаточно вероятная. (...) Таким образом, мое утверждение о необходимости работать над философией пробабиллизма вовсе не означает творения чего-то абсолютно нового, а лишь продолжение начатого пути по новой тропе, отличной от прежней тропы аподиктизма (так можно назвать всех тех философов, которые полагают, что философия должна быть построена исключительно на абсолютно достоверных основаниях; таких, конечно, большинство: Декарт, Мальбранш, Лейбниц, Кант и др.). Поэтому мне кажется, что с чисто гносеологической точки зрения все философы должны быть разделены на аподиктистов и пробабиллистов; право же импробабиллистов на существование мне представляется спорным и де юре, и де факто (мне неизвестно, кто претендовал защищать философию импробабиллизма; здесь ты, пожалуй, окажешься первым). (...)

**А. А. Любищев — П. Г. Светлову**  
9.10.1949

(...) Мне кажется странным, что тебя угнетает мир инвариантов. Искать неиз-

<sup>3</sup> Пьер Дюгем (1861—1916) — французский физик-теоретик, историк и философ науки, член Парижской Академии наук. Работал в области термодинамики, гидродинамики, теории упругости, магнетизма.

<sup>4</sup> Experimentum crucis — решающий эксперимент (лат.).

менное в подвижном учили не только Бэр и Гете («невидимую ось в потоке явлений»), но об этом же говорит и Энгельс. Это совсем не отрицает движения, это только отрицает, что можно изучать только движение. В частности, самого Платона никак нельзя упрекнуть в неподвижности. Прочти такой блестящий диалог, как «Протагор», почему-то сравнительно мало известный. Ведь он там с одинаковым блеском доказывает две прямо противоположные точки зрения, и в конце концов остается неясным, а как же думает сам Платон. Тупые гелертеры даже, например, отрицали принадлежность «Парменида» к числу подлинных произведений Платона на том основании, что в нем Платон якобы опровергает учение об идее. Да ведь в сущности у Платона только было высказано в художественной форме убеждение о существовании идеи, а он так его и не разработал как следует, предоставив это своим последователям, которые, как часто бывает с последователями, вместо разработки учения превратили его в догмат и тем сделали его ненавистным для многих свободомыслящих людей, не имевших возможности познакомиться с его учением в оригинале.

Если применять критерий противоречия для доказательства неподлинности сочинений, то придется признать, что большинство диалогов написано каждым несколькими авторами. Просто Платон был слишком широк, чтобы не видеть сразу явления с многих сторон, и упрекать платонизм в неподвижности совершенно несправедливо. Гораздо правильнее сказал Жебелев в предисловии к сочинениям Платона, так и оставшимся незаконченными<sup>5</sup>, что Платон всегда останется учителем ищущих, т. е. наиболее подвижных в умственном отношении. Откровенно говоря, в твоём отношении к неподвижности наблюдается какое-то странное непостоянство. Когда-то давно я тебе послал критический разбор «Критики чистого разума»

Канта. К сожалению, у меня этот разбор не сохранился. Я там развивал некоторые соображения по поводу философии пробабиллизма и указал, что в истинной философии (как я понимаю истинную диалектику) нет ничего абсолютно достоверного, а только более или менее вероятное. Ты же сказал тогда, что кто же будет строить все здание только на вероятности. Тогда тебе нужно было достоверное, твердое, неподвижное, а теперь тебя неподвижность угнетает.

А у меня есть, по-моему, синтез: надо стремиться к раскрытию инвариантов, но так как это раскрытие будет длиться бесконечно (не говоря уже о том, что и процессы движения интересны, но меня лично они интересуют меньше), то ум все время будет находиться в движении. Следовательно, никакого угнетения от неподвижного не будет. <...>

П. Г. Светлов — А. А. Любищеву

1.4.1960

Дорогой Александр Александрович!

Как мне стало известно, в этом году тебе исполняется 70 лет. Эту почтенную и знаменательную дату следует особенно отметить. Позволь поздравить тебя от всего сердца, заочно обнять и пожелать здоровья и сил на предстоящем этапе жизни, очень ответственном: нужно подводить итоги и производить конечные синтезы на высшем уровне! Собирать урожаи посевов, сделанных за более, чем полвека напряженной работы, просматривать свою «кладовую» и приводить все в окончательный порядок. Работа большая, в соответствии с размерами твоей кладовой и количеством запасов в ней, ждущих надлежащего использования.

Ты и Владимир Николаевич<sup>6</sup> — наиболее выдающиеся люди из всех, с которыми сводила меня судьба. Были еще двое: одного ты не знал (В. Н. Кириллин, поэт, мой гимназический товарищ, убитый на войне в 1914 году в возрасте 25 лет), а другой — Д. М. Дьяконов,

<sup>5</sup> «К сочинениям Платона, так и оставшимся незаконченными» — описка А. А. Любищева. Имеется в виду оставшееся незаконченным издание «Полного собрания творения Платона в XV томах» под редакцией С. А. Жебелева, Л. П. Карсавина, Э. Л. Радлова, начатое в 1923 г. в Петрограде. С 1923 по 1929 г. вышло всего 6 томов: I, IV, V, IX, XIII и XIV. С. А. Жебелев (1867—1941) — советский историк, академик АН СССР, специалист в области античной истории, эпиграфики, археологии и классической филологии, переводчик Платона, Аристотеля, Аппиана.

<sup>6</sup> Владимир Николаевич Беклемишев (1890—1962) — советский зоолог, академик АМН СССР. Основоположник школы советских паразитологов и медицинских энтомологов, создал учение о малярийных ландшафтах, явившееся основой прогнозирования заболеваемости малярией, и разработки мероприятий по ее ликвидации в СССР.

человек исключительно и разносторонне одаренный, скончавшийся в 1923 г. С тобой и В. Н. мне довелось провести большую часть жизни; общение с вами обоими столь обогатило мою жизнь, что мне трудно найти адекватные слова для выражения своей любви и признательности своим старым товарищам, дружбой с которыми я горжусь. В данный момент я хочу с целью отметить твоё семидесятилетие кое о чём вспомнить и кое о чём поболтать.

Наше знакомство состоялось в Перми, как будто в 1921 г. Тебе было тогда всего 30 с небольшим лет. Я младше тебя всего на 2,5 года, но чувствовал себя тогда по сравнению с тобой совершенным юнцом, т. е. рассматривал тебя как «большого», самого себя считал «маленьким» (к чему были положительные основания). Представь, это отношение к тебе, как к старшему, осталось до сих пор, хотя теперь разницы в годах между нами практически не существует. Встреча с тобой была для меня большим событием, которая очень повлияла на моё дальнейшее развитие. Может быть, и смешно говорить о «развитии» в возрасте около 30 лет (*nel mezzo del cammin di nostra vita*<sup>7</sup>, как охарактеризовал Данте свой возраст, в котором он написал свою поэму), но ко мне это подходит в высшей мере, так как я развивался исключительно медленно и считаю, что я ещё не закончил своего «развития», хотя мне уже пора бы «свиваться».

(...) Ты «пришелся» мне как нельзя более кстати, и я слушал все, что ты говорил, буквально развесив уши. Особенное значение для меня имели в дальнейшем твоя пропаганда идеи поля, формы, как самостоятельной проблемы и в том числе эстетической (!), естественной системы в оригинальном понимании её, математика в биологии и т. д. Усиливая впечатление необыкновенный энтузиазм в высказываниях, благодаря чему они производили впечатление ослепительного фейерверка. Вообще, прибегая к древней терминологии, можно сказать, что при создании твоей личности в качестве основной субстанции был взят огонь; остальные три стихии участвовали в этом событии в минимальном количестве, необходимым

для приготовления человека. Так как этот огонь согревал не только интеллектуальные центры, а проникал все мое нутро, то естественно я быстро был расплавлен целиком, т. е., проще говоря, ты стал мне столь близким человеком, что мне даже немного совестно писать тебе дифирамбы. Причиной стыда в этих случаях является, по-видимому, то, что близкий человек становится как бы частью самого себя.

Я много от тебя получил, но, думаясь, имею основание ожидать от тебя ещё большего в смысле твоей дальнейшей научной продукции. Да этого ждут от тебя и многие другие. Ты ведь занимаешь совершенно особенное место в нашей научной общности. Не имея чинов, орденов, почетных званий и т. д., ты занял в ней прочное и видимое место как основатель нового направления в систематике, знаток и пропагандист математических методов в биологии, лидер оппозиции казенщине в философии (не говоря о твоём авторитете у энтомологов по борьбе с вредителями и специальным вопросам).

Итак, переходим в следующий этап жизни, на котором, надеюсь, наша близость не уменьшится. Есть шансы, что она увеличится, так как я не теряю надежды высказать некоторые соображения по общим вопросам, судьей которых я хочу надеяться иметь тебя. Я все откладывал это дело, но теперь подошло время, когда дальше его откладывать некуда. Ты уже неоднократно советовал мне «подумать о душе», что пора сделать. Совет правильный, и по-настоящему его надо принять к руководству; при этом, мне думается, в него нужно вложить тройкий смысл (в данном случае). Прежде всего нужно избавиться от «суеты» жизни, каковой являются сейчас для меня служба и экспериментальная работа. Последняя, при всей своей увлекательности, ограничивает горизонт и поэтому известным образом «отупляет». Подобно тому, как «эпоха возрождения», по чьему-то выражению... оказалась и «эпохой вырождения» могучих духовных сил средневековья, современная наука при всем её блеске, хотя и идет по правильному и необходимому руслу, заслужает другие аспекты действительности (отнюдь их не опровергая, конечно). Пора остановиться и подытожить сделанное в цеховой части, это — первое. Далее, нужно подытожить вообще все, что возможно, по интеллектуальной части: «сопрягать надо», как снилось П. Безухову на Бородинском поле.

<sup>7</sup> Досл.: «на середине нашего жизненного пути» (ит.). Ср.: «Земную жизнь пройдя до половины, я очутился в сумрачном лесу». — Данте Алигьери. Божественная комедия. М., 1967. С. 9. Пер. М. Лозинского.



Но прежде всего этот совет надо понимать в том его прямом и простом смысле, в котором выражение «подумать о душе» понималось нашими матерями и бабушками. (...) Что до меня, то «сердцем вещим знаю я — обеты данные не ложны». Содержание сущности этих обетов выражено у особо чтимого нами обоими поэта:

В одну любовь мы все сольемся вскоре,  
В одну любовь, широкую, как море,  
Что не вместят земные берега...<sup>8</sup>

А. А. Любичев — П. Г. Светлову  
9.5.1960

Милый мой друг Павел Григорьевич!  
(...) Твое письмо носит, конечно, совсем особый характер. В твоих чувствах ко мне я, конечно, несколько не сомневался, но ты сумел написать письмо в таком тоне, который меня чрезвычайно тронул...

Как-то всю жизнь я не испытывал страха смерти, и сейчас, когда по всем критериям я оказываюсь стариком, я никакого беспокойства не испытываю. Хочется пожить подольше поумо, что жизнь моя сейчас наполнена содержанием и даже полнее, чем когда-либо, так как в прежние время отвлекали в сторону бытовые нужды и работа, которую приходилось выполнять по внешним побуждениям. Надеюсь, конечно, что умственная работоспособность меня не покинет. Личное бессмертие меня как-то никогда не привлекало даже в детстве, когда искренне верил в бессмертие. Мне казалось непонятным, что я буду делать в течение вечности. Я представлял себе, что души летают в виде ангелов. Ну, конечно, полетать хорошо (мне неоднократно во сне снилось, что я летаю, и это было чрезвычайно приятно) ну год, два, но летать целую вечность ведь надоест. Думаю, что в такой примитивной форме бессмертия не будет, да и в превосходной цитате А. К. Толстого «в одну любовь мы все сольемся вскоре» это что-то похоже на буддийскую нирвану, а не личное бессмертие. (...)

Ты считаешь, что ты еще не кончил развиваться; я нахожусь в таком же положении, и это меня несколько не огорчает. Искание истины заполняло всю мою сознательную жизнь. Это искание несколько не уменьшилось в интенсивности с возрастом, я сейчас ревизую многие свои воззрения, которые были достаточно тверды у меня в течение десятилетий. Я лично плохо себе представляю, чтобы мое актуальное сознание сохранилось после смерти. Это не противоречит моему взгляду о наибольшей достоверности сознания. Ведь сознание бывает и в актуальном, и в потенциальном состоянии (сон, обморок, наркоз). Сохранение моего сознания в потенции и растворение его в общем мировом сознании — вот то решение, которое на данный момент больше всего меня удовлетворяет.

П. Г. Светлов — А. А. Любичеву  
14.7.1960

(...) Достижение «высших целей», конечно, составляет смысл жизни...

В твоей формулировке бессмертия («Сохранение моего сознания в потенции и растворение его в общем мировом сознании») вторая половина мне очень приятна. Растворение — не есть уничтожение (что следует и из первой половины твоей формулы), а какой-то ближе не определяемый тобой вид вхождения в мировое целое. Образцы комплексных целых (далеко не совершенных) дает нам биология в виде многоклеточных организмов, колоний сообществ и т. д., дело — нам знакомое. Обязательность ограничения «потенциальным» сохранением в вечности для меня непонятна. Чем она мотивирована? Вечный покой и вечная деятельность совместимы в высшем синтезе, что лучше всего доказывает музыка Баха. Но и признание потенциального бытия — это много: вероятность перехода потенциального в актуальное при бесконечно большом времени — близка к достоверности.

Ты совершенно неправ, относя меня к абсолютно заскорузлым личностям, считающим, что они владеют полной истиной и что искать им больше нечего. Наоборот, как меня научил К. Бэр, считаю, что история — есть продолжение сотворения мира и тем самым истина нам еще далеко не открыта полностью. (...)

<sup>8</sup> Толстой А. К. Стихотворения. Царь Федор Иоаннович. Л., 1958. С. 154—155.

**А. А. Любищев — П. Г. Светлову**  
15.3.1961

(...) Современные редакторы исходят из презумпции (справедливой для многих начинающих авторов, в особенности беллетристов), что они знают гораздо больше, чем автор, что они лучше владеют слогом, чем автор, и что они лучше знают язык и что их предложения всегда исправляют рукопись. Мне же думается, что если работа заслуживает публикации (а решение вопроса о принятии или непринятии — главная задача редактора: первоначальное значение латинского *redigo* — гнать назад<sup>9</sup>), то это значит, что автор по данному вопросу проделал большую работу, и маловероятно, что редактор лучше понимает вопрос, чем автор. В отношении стиля следует предоставить свободу автору и не пытаться всех стричь под одну гребенку, устанавливая, например, обязательный коэффициент тупословия. Грубую ошибку, например, сделал знаменитый Бальзак (сужу по статье И. Эренбурга «Уроки Стендаля»), который в противоположность большинству тогдашних писателей в общем похвалил Стендаля, но тут же предложил изменить стиль работы и писать в общем так же, как Бальзак. Хорош был бы Стендаль, если бы послушался этого дурацкого совета (извини, мягче не скажешь)! Я полагаю, что стиль может быть разнообразным не только в беллетристике, но и в науке.

**А. А. Любищев — П. Г. Светлову**  
27.12.1961

(...) Я составил себе план *opus magnum*<sup>10</sup> моей жизни лет на восемь под названием «Линии Демокрита и Платона в истории культуры». Около шести печатных листов уже написано (105 страниц убористого большого формата), касающихся постановки задачи и истории математики. Сейчас я потратил много времени и труда на знакомство с Галилеем и Коперником, с Ньютоном я и раньше

<sup>9</sup> Слово «редактор» произошло от одной из форм латинского глагола *redigo, redigi, redactum, redigere* — гнать назад, доводить, вынуждать, упорядочивать.

<sup>10</sup> *Opus magnum* — великий, главный труд (лат.).

был несколько знаком. Остались еще Кеплер и Бруно. В первой половине 1962 года надеюсь кончить астрономию, может быть, теоретическую механику, потом будут физические проблемы, и в 1963 году надеюсь приступить к биологии, что займет, конечно, 2—3 года, а затем 2—3 года должно занять значение философии в этике, эстетике, религии, социологии и политике. Так как примерно в этот же срок я рассчитываю сделать большую монографию по *Halticinae*<sup>11</sup> (общий план работы тоже уже есть), то в общем план довольно напряженный. Этот год у меня оказался продуктивным, по количеству продуктивно проведенного времени (согласно моей, известной тебе, системе учета) он рекордный в моей жизни, и так как я живу в очень хороших условиях, а папаша умер к 87 годам, то я полагаю, что планировать до 80 лет я имею все основания. Размах моих планов может тебя удивить, но тут ты тоже оказался в числе провокаторов с твоей справедливой критикой моей статьи «Философия и наука». Вся первая часть (это, вероятно, будет солидный том) и служит, так сказать, научно-философской пропедевтикой к центральной биологической части.

**П. Г. Светлов — А. А. Любищеву**  
18.8.1962

(...) Только сейчас я имел возможность прочесть оставленную тобой рукопись «Линии Демокрита и Платона в истории культуры», гл. I—III<sup>12</sup>. Читал с боль-

<sup>11</sup> *Halticinae* — земляные блошки (лат.).

<sup>12</sup> Демокрит (470/460 до н. э. — ум. в глубокой старости) и Платон (428/427 — 348/347) — древнегреческие философы, представители двух философских направлений: материализма и объективного идеализма. Первое из них представлял Демокрит, один из основателей античной атомистики, второе — Платон. По Демокриту, вечная и бесконечная Вселенная состоит из атомов и пустоты. Атомы — неделимые материальные элементы (геометрические тела, «фигуры»), вечные, неразрушаемые, непроницаемые, различающиеся формой, положением в пустоте, величиной. Они невидимы для человека. Из их «вихря» образуются как отдельные тела, так и все бесчисленные миры.

Платон утверждал первичность, существенность идеи и непервичность, несущественность материи. Материя для него лишь принцип частичного функционирования идеи: она воспринимает идеи не целиком, но «по возможности», начиная с максимальной ус-

шим интересом и извлек из нее много ценного для себя. (...) Я не думаю, чтобы ты ждал от меня каких-либо высказываний по истории античной математики. Могу сказать, что эта работа произвела на меня впечатление сильной, продуманной и законченной (в отношении поставленных пока вопросов и высказанных суждений). Жду продолжения и не хотел бы навсегда расставаться с этой рукописью. (...)

Имеющиеся у меня вопросы отложу до прочтения следующих глав твоей монографии, тем более, что главный вопрос, около которого сосредоточено все изложение — значение философских систем для естествознания, — далеко не закончен пока в этих главах, и, пожалуй, только показано, как трудно дать ответ на этот вопрос в общем виде. Пожалуй, попрошу объяснения следующему недоумению: как в этой рукописи, так и в других твоих сочинениях и устных высказываниях неоднократно повторяется резкая критика представления о «двух лагерях» в философии и науке с указанием на полную его неприемлемость (с весьма убедительной на вид мотивировкой). Но в основу плана твоего нового капитального труда положено представление о «двух линиях» Демокрита и Платона, каковые являются основными стержнями, вокруг которых группируются основные результаты, достигнутые мировой культурой. При этом первые страницы введения показывают со всей ясностью, что если «Линия Платона» понимается как нечто более узкое и определенное, чем идеализм вообще, то «Линия Демокрита» охватывает не только все виды материализма, но и любые проявления механистического воззрения (методологии), независимо от его гносеологической и онтологической подстилки. Чем же это не «два лагеря», и чем лучше две линии двух лагерей? Пока это выглядит как противоречие, которое желательно устранить, а если я ошибаюсь, то разъяснить мне, в чем именно.

А. А. Любищев — П. Г. Светлову  
12.9.1962

(...) Разъясняю возникшее у тебя недоумение о двух линиях и двух ла-

гойчивого их положения в виде мира неподвижных звезд и кончая миром земных вещей. См.: Лосев А. Ф. История античной эстетики. Высокая классика. М., 1974.

герах. Почему я критикую мнение о двух лагерях: 1) потому что это представление чрезмерно упрощает положение и предполагает, что всегда можно сказать о том или ином явлении: положительное оно или отрицательное; 2) на самом деле можно говорить о большом количестве потоков мысли, которые во многих случаях анастомозируют<sup>13</sup>, и провести резкую границу невозможно; к таким амфибиям относятся, например, философия Аристотеля, имеющая огромное значение в истории мысли<sup>14</sup>; 3) обобщая, можно даже говорить не о сети идеологии в пространстве двух измерений, а о многих плоскостях, частично друг друга пересекающих. В частности, субъективный и объективный идеализм вовсе не являются разновидностями какого-то общего направления — идеализма вообще, а они касаются двух разных плоскостей мышления: объективный идеализм относится к онтологии, субъективный к гносеологии. Поэтому можно быть гносеологически идеалистом, а онтологически — материалистом; пример — Пирсон<sup>15</sup>; 4) если нельзя говорить о лагерях как о чем-то исторически устойчивом (это могут быть только временные маневренные образования), то некоторые «линии» в огромном комплексе потоков мысли могут быть выделены, поэтому можно говорить о линиях Платона и Демокрита, как особенно четких выражениях идеологии, резко критикуя в то же время понятие о двух лагерях. В дальнейшем я надеюсь показать, что, например, Эпикур<sup>16</sup>, как он и сам думал, совсем не относится точно к линии Демокрита; 5) наконец, пожалуй,

<sup>13</sup> Анастомозируют — здесь: имеют соединения.

<sup>14</sup> Философию Аристотеля (384—322 до н. э.) А. А. Любищев считал «третьей линией» в истории культуры, полагая ее синтезатором двух первых линий. По Аристотелю, всякая реально существующая вещь есть единство материи и формы.

<sup>15</sup> Карл Пирсон (1857—1936) — английский математик, биолог и философ-позитивист. Один из основоположников (вместе с Ф. Гальтоном) биометрии, внес значительный вклад в развитие математической статистики. В сочинении «Грамматика науки» (1911) дал идеалистическую трактовку природы научного знания, считая, что понятия науки — искусственные конструкции, создаваемые для описания и классификации наших ощущений. Однако, считая реальность проекцией чувственных восприятий, Пирсон вместе с тем не сомневался в связи мышления с мозгом как материальным субстратом.

<sup>16</sup> Эпикур (341—270 до н. э.) — древнегреческий философ. В физике и канонике (учении о познании) Эпикур разработал материалистическое учение, важнейшим элемен-

самое главное — это то, что положение Демокрита и Платона не симметрично: линия Демокрита исключает все то ценное, что имеется у Платона, линия же Платона вовсе не исключает ценнейших положений линии Демокрита: она является гораздо более широким учением, но в пределах ее может быть много подразделений, смотря по тому, признаем ли мы пифагорейские принципы гармонии и пр. характерными для всей Вселенной в целом или ограничиваемся областью жизни (настоящий витализм). Все это я намерен достаточно подробно развить в одной из последующих частей моей работы.

(...) Читал подлинные произведения Галилея, Коперника, Николая Кузанского и получил огромное удовольствие.

П. Г. Светлов — А. А. Любицеву

3.7.1965

(...) В твоём письме Энгельгардту<sup>17</sup> есть фраза (вернее, один оборот), указывающая на глубокие различия во взглядах между нами. Я их издавна чувствовал, как может быть и ты, но кажется, речи об этом у нас никогда не было. Я говорю о фразе на стр. 3: «Не этот ли инстинкт, стремление к чистому знанию, к **рационализации всего бытия** является основным принципом развития ноосферы...» Мое несогласие относится только к подчеркнутым словам, так как «знание» и «рацио» — не синонимы, и познание не обязательно результат рационализации. Знание имеет множество источ-

ников, и рефлектирующий разум — лишь один из них.

Мало того, рассудок, а тем самым рационализация бытия находится в теснейшем единении с иными источниками знания и в значительной мере питается ими. Поэтому «рационализация всего бытия» и невозможна и не нужна. Часто знание противопоставляют вере. Антитеза: «чистое» знание и «слепая» вера. Однако, как знание может быть слепым и нечистым, так и вера может быть не слепой и чистой. При этом под знанием понимают результат чувственных восприятий и их логического анализа, а под верой необоснованные суждения и их системы, точнее — основанные на авторитете (чьём-либо) или на произволе. Тем самым проводится оценочное различие между тем и другим: знание — единственный достоверный источник сведений о чем бы то ни было и поэтому полезно, а вера — нечто абсолютно недостоверное и поэтому бесполезное.

Замечу, что и при этом понимании вера должна быть отнесена к классу понятий, которые никак не обозначить иначе, как словом знание: только это знание, с точки зрения, приведенной выше, лишено объективной достоверности. Таким образом, указанное противопоставление — результат ненужного сужения понятия знание. Кроме того, противопоставление знания вере не учитывает того простого и всеобщего факта, что любое знание, включая данные точных наук, основано на аксиомах, т. е. на вере. (...)

Не думаю, чтобы то, что я пишу, было бы для тебя новостью. Но как быть с «рационализацией всего бытия»? Источники знания многочисленны и разнообразны. Есть наследственное знание (инстинкты), о рационализации его говорить не приходится. Есть знание «сензу стрикто»<sup>18</sup> в понимании, указанном выше. Но и оно настолько тесно соприкасается, даже переплетается с безумием, что крупнейшие передовые ученые об этом открыто говорят.

Но как быть с рационализацией бытия, знания о котором мы получаем из музыки, поэзии и волшебств прочих видов искусств? Это все несомненно сфера знания, а не только эмоций, как иногда думают. Только эти знания о Вселенной не могут быть выражены в форме

том которого является принцип сохранения материи: ничто не происходит из несуществующего, ничто не становится несуществующим. Основные элементы мироздания — атомы и занимаемое ими пространство. Атомы неделимы, неизменны, неуничтожимы и — в этом одно из существенных видоизменений атомистического учения Демокрита — они имеют форму, величину и вес. Эпикур отрицал существование во Вселенной абсолютного верха и абсолютного низа и, в противоположность Демокриту, признавал наличие относительных пространственных направлений верха и низа в пустом пространстве.

<sup>17</sup> Владимир Александрович Энгельгардт (1894—1984) — советский биохимик, один из основоположников молекулярной биологии в СССР, действительный член АН СССР, Герой Социалистического Труда. Организатор и первый директор Института молекулярной биологии АН СССР. Письмо академику В. А. Энгельгардту было откликом на его речь о творчестве ученого, произнесенную по радио 19 декабря 1964 г.

<sup>18</sup> Sensus strictus — точный смысл, узкий смысл (лат.); sensu stricto — а строгом, узком смысле.

понятий, а тем самым они принципиально нерационализуемы. <...>

Помню, ты же мне писал или говорил о знаменитом «Квиа» Тертуллиана<sup>19</sup>. Для него абсурдность положения, т. е. его принципиальная иррациональность, не только не препятствие для положительного знания (веры), но важная характеристика узловых пунктов структуры Вселенной... Для него, по-видимому, понимать даже неважно. Он хочет знать и знает **наверное**. Больше ему ничего не нужно. Думаю, что Тертуллиан недооценивает значения рациональных знаний. Но рационализма нельзя и переоценивать. Разум — один из инструментов познания, очень важный, но не единственный, особенно там, где речь идет не о *Homo faber*<sup>20</sup> (вспоминая Бергсона<sup>21</sup>), а *Homo spiritualis*<sup>22</sup>. За пределами применимости разума залегает огромная область, океан своего рода, о котором нам дают понятие внеразумные источники знания, каковые служат и фундаментом для разумного.

Противоречия между данными разных источников знания возможны, но, разумеется, нежелательны, как и неприемлемость для разума знаний, полученных из внеразумных источников (как абсурды Тертуллиана). Но поскольку с «немыслимым» сталкивается и физика, с этим приходится мириться. Но имеются для надежды на несубстанциональный характер противоречий и абсурдностей и твердые основания, ибо «вначале было слово». Прав Гете, что здесь это слово — не *das Wort* и отчасти прав, что частично

это *das Werden*<sup>23</sup>. Но Логос означает и многое другое; во всяком случае, в нем не может быть тьмы, ибо «в начале был свет» во всех смыслах, начиная с фотонов. Возможно, что абсурд — нечто вроде диссонансов в музыке. Они не только неизбежны, они необходимы, но предполагают разрешение в гармоническом созвучии. Не подобны ли разрешения доминант-септ-аккордов в трезвучии синтезам на высших уровнях в области знания? Но такие синтезы явно должны выйти за пределы рационализации в обычном понимании этого слова.

Полагаю, что слово «ноосфера» не вполне выражает особенности периода истории планеты с момента появления человека. К разуму *voob* присоединяется душа *ψυχη*, и ноосфера становится психосферой, а за ней следует дух *πνευμα*, и тем самым возникает пнеймосфера. В пнеймосфере разум необходимый компонент, но не исчерпывающий полноты сферы действия включенных в нее индивидов, и в том числе деятельности А. А. Любищева, религией которого является возвышенный гуманизм; требования последнего, как показано Сент-Экзюпери, в отличие от кодекса термитника не могут быть выведены рационалистически (сто шахтеров погибают с целью спасти одного и т. д.). В пнеймосфере... история в новом витке спирали претворяет силы, движущие деятельность ее элементов — живых индивидов, «голод и любовь»<sup>24</sup>, одухотворяя их. Голод претворяется в появлении «алчущих и жаждущих правды» и молящихся *panem nostrum supersubstantialem da nobis hodie*<sup>25</sup>; любовь из биотической (бестиальной) делается сначала душевной (психической), а потом духовной (пневмальной). Она-то и есть основа «всего бытия». Примерно так учил и Платон в речи Сократа об Афродите небесной<sup>26</sup>. Поэтому-то «рационализация всего бытия» мне не представляется чем-то увлекательным. Это замена живых людей роботами.

<sup>19</sup> Имеется в виду знаменитый тезис Тертуллиана "credo quia absurdum est" — «верую, ибо абсурдно» (лат.). Тертуллиан (ок. 160 — после 220) — римский христианский теолог и писатель. Его стиль мышления отличался тягой к парадоксу и интеллектуальной провокации. Если современные ему мыслители работали над приведением библейского откровения и греческой философии в целостную систему, то Тертуллиан всемерно подчеркивал пропасть между конкретной реальностью веры и абстрактными истинами умозрения.

<sup>20</sup> *Homo faber* — человек творящий, вырабатывающий (лат.).

<sup>21</sup> Анри Бергсон (1859—1941) — французский философ, представитель интуитивизма и философии жизни. По Бергсону, подлинной и первоначальной реальностью является жизнь как метафизически-космический процесс, «жизненный порыв», творческая эволюция, вершиной которой является *Homo faber*. Структура этой реальности — длительность, постигаемая только посредством интуиции, противоположной интеллекту.

<sup>22</sup> *Homo spiritualis* — человек одухотворенный (лат.).

<sup>23</sup> *Das Wort* — слово как речь, *das Werden* — становление (имеется в виду слово в процессе становления. Греческий же Логос — это и слово, и речь, и мысль, и смысл).

<sup>24</sup> Слова Ф. Шиллера: «Любовь и голод правят миром».

<sup>25</sup> *Panem nostrum supersubstantialem da nobis hodie* — хлеб наш духовный, или сверхсущий, дай нам ныне (лат.).

<sup>26</sup> См.: Платон. Пир // Платон. Соч. в трех томах. Т. 2. М., 1970. С. 127—143.

А. А. Любищев — П. Г. Светлову

7.8.1965

{...} О рационализации. Последняя часть твоего письма для полного ответа потребовала бы особого длинного письма. Я этого не делаю по трем соображениям: 1) Кое-что по поводу веры и знания есть в моем письме Энгельгардту, которое я тебе пересылаю. 2) О семи формах рационализма есть в моей работе «Линии Демокрита и Платона», в третьей главе, где речь идет о Зеноне Элейском<sup>27</sup>, восьмой смысл слова рационализм — богословский — упомянут в статье «Рационализм» в последнем «Философском словаре». 3) Ясно поэтому, что твои возражения в значительной степени основаны на различном понимании терминов. Ты понимаешь рассудок в узком смысле — дискурсивного мышления, а я считаю рассудком рацию в общем смысле, все формы познания, в том числе интуицию, мистическое озарение и пр. «Оглядыся умными глазами», — говорит фея огня в «Сказании о великом граде Китеже»: это тоже форма познания, а не просто ощущения. Мое понимание восходит, по крайней мере, к Галилею, который тоже различал две формы познания: человеческую — по частям и божественную — где истина постигается сразу во всей полноте. А отсюда, по-моему, ноосфера выше и психо- и пневмосферы. Различие психо- и пневмосферы для меня неясно<sup>28</sup>. {...}

Когда я жил в Ленинграде, то работоспособность была гораздо ниже. {...}

Секрет моей работоспособности сейчас: 1) я не имею обязательных поручений, чрезвычайно вредно действующих на нервную систему; 2) я не беру срочных поручений и в случае утомления сейчас же прекращаю работу, или отдыхаю, или перехожу на неумтомительное занятие; 3) сплю очень много, сейчас 8 часов ночью и два после обеда, всего не менее десяти и регулярно гуляю; 4) веду учет, как тебе известно, уже более 50 лет и поэтому не распускаюсь; 5) комбинирую утомительные занятия с прохладными, так что целый день один участок нервной системы никогда не работает.

Но соблюдение всех указанных условий трудно при нахождении на государственной службе и в больших городах. Те, кто при неблагоприятных условиях могут работать — вот эти действительно работоспособные люди...

Очень рад твоему отзыву о «Философских аспектах в таксономии»<sup>29</sup>. Я сам считаю, что эта работа и старая о форме естественной системы<sup>30</sup> — лучшее, что я написал.

<sup>29</sup> См.: Lubitschev A. A. Philosophical aspects of taxonomy // Ann. rev. entomol. 1969. V. 14. P. 19—38. Русский вариант опубликован под заголовком «О критериях реальности в таксономии» в книге «Информационные вопросы семиотики, лингвистики и автоматического перевода» (М.: ВИНТИ. 1971. Вып. 1. С. 67—81).

<sup>30</sup> Любищев А. А. О форме естественной системы организмов // Изв. Биол. н.- и. ин-та при Перм. ун-те. 1923. Т. 2. Вып. 3. С. 99—110.

А. А. Любищев — П. Г. Светлову

15.8.1969

Моей «чудовищной работоспособности» ты завидуешь совершенно напрасно.

<sup>27</sup> Зенон Элейский (ок. 490—430 до н. э.) — древнегреческий философ, которого Аристотель считал основателем диалектики как искусства постижения истины посредством спора или истолкования противоположных мнений. Известен знаменитыми парадоксами (апориями) — «Ахиллес», «Стрела» и др., обосновывающими, как он считает, невозможность движения и множественности вещей.

<sup>28</sup> В ответном письме от 2.9.1965 г. П. Г. Светлов писал А. А. Любищеву: «Спасибо за разъяснение твоего понимания рационализма. Конечно, при столь широком понимании его все мои «рацеи» — излишни. Но в обычном современном и наиболее ходком значении рационализм — синоним рассудочности. Да и у римлян «рацио» это даже не воос. Вообще же эта часть моего письма явно была стрельбой воробьев по пушкам».



## Линзы пресных вод в пустынях

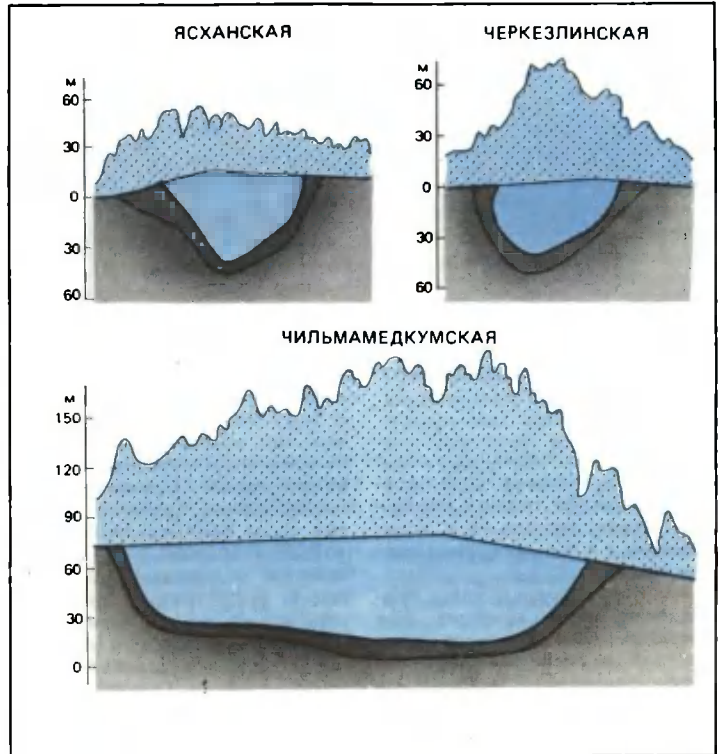
**К. П. Попов,**  
кандидат биологических наук  
Институт пустынь АН ТуркмССР  
Ашхабад

Общезвестно, что пустыни маловодны. Однако в Каракумах, например, довольно развита растительность, на которой круглый год выпасаются миллионы каракульских овец. Еще в древности, чтобы обеспечить их водой, в пустыне отрыли тысячи колодцев глубиной от 10 до 200 м. Правда, большинство из них дает солоноватую воду, пригодную лишь для скота. А вот о значительных запасах пресных грунтовых вод в Каракумах долгое время не подозревали.





Первое подземное хранилище пресных вод, имеющее линзовидную форму, — Ясханская линза — было открыто в 1952—1958 гг. гидрогеологом Н. Г. Шевченко под песками Приузбойских Каракумов на глубине 30—40 м. Ее площадь составила 2350 км<sup>2</sup>, а объем — 10 млрд м<sup>3</sup>. Расположена линза в 120 км к востоку от г. Небит-Даг и примыкает к сухому руслу Западного Узоя. Позднее в Каракумах обнаружили более десяти подпесчаных линз, общая площадь которых — 30 тыс. км<sup>2</sup>, а объем воды с минерализацией не более 1,0—1,5 г/л превышает 800 млрд м<sup>3</sup>.

Естественно возник вопрос: каким образом в песках накопились столь внушительные запасы пресных грунтовых вод? Ведь среднегодовые осадки в Каракумах составляют 120—160 мм, а испаряемость с открытой водной поверхности превышает 2000 мм.

Недостатка в гипотезах образования Ясханской линзы не было. Полагали, что ее воды накопились за счет стока влаги осадков со склонов Западного Копетдага, или что они под напором поступают из древних глубинных пластов, или же это



Строение линз пресных вод в Каракумах, расплывающихся под приподнятыми участками барханных песков. (По данным Н. Г. Шевченко, 1982.) Нулевая отметка на рисунках — уровень моря. Горизонтальная протяженность линз — десятки километров.

-  Зона аэрации
-  Линза
-  Переходные грунтовые воды
-  Рассолы (Каракумская скатерть)

результат инфильтрации влаги из Амударьи, которая впоследствии вместе с огромной массой подземных вод перемещается в Приузбойские Каракумы. От-

крывшая линзу Н. Г. Шевченко пришла к выводу, что она носит реликтовый характер, так как образована водами некогда протекавшей в Западных Каракумах Премаударьи, запасы вод линзы статичны, роль современного питания за счет инфильтрации осадков и конденсации невелика<sup>1</sup>.

С годами выяснилось, что все линзы в Каракумах располагаются вдали от водосборных элементов рельефа (а ими служат такыры, горные склоны и т. п.), а также изолированы от русла Амударьи и теряющих-

<sup>1</sup> Шевченко Н. Г. Закономерности распространения и формирования линз пресных вод пустынь и опыт рациональной их эксплуатации. Ашхабад, 1982.



Пресноводное озеро Топиатан. На горизонте подвижные пески Приузбойских Каракумов.

ся в песках древних дельт Мургаба и Теджена. Они перекрыты мощной толщей барханных песков, тяготея не к пониженным, а к повышенным участкам рельефа.

Водоупором для подпесчаных линз пресных вод являются соленые грунтовые воды, так называемой Каракумской скатерти. Температура пресных вод на 1—3° выше температуры залегающих под ними рассолов.

Самые верхние части — купола линз сложены «ультрапресной» водой, в литре которой содержится 0,1—0,3 г гидрокарбонатов. С глубиной минерализация воды постепенно возрастает за счет хлоридов и сульфатов натрия.

Ежегодно, в период выпадения зимних и весенних осадков, уровень пресных вод несколько понижается, а в сухое и жаркое время года повышается. Летом и осенью вода из линз уходит под землей в понижения и в русла рек.

Поскольку строение разных подпесчаных линз сходно, по-видимому, они формировались в одинаковых гидрогеологических условиях за счет одних и тех же источников воды. Но каких?

В свое время видный исследователь Каракумов В. Н. Кунин в противовес мнению Н. Г.

Шевченко утверждал, что Прамударья в районе Ясханской линзы никогда не протекала. К тому же минерализация речных вод обычно более высока по сравнению с ультрапресными водами линзы. По мнению этого исследователя, древние грунтовые воды без постоянного пополнения пресными водами неизбежно превращаются в рассолы. С этим трудно не согласиться, ведь не случайно древние воды Каракумской скатерти представлены рассолами. В. Н. Кунин отметил также, что Ясханская линза пополняется и в современный период, при этом ежегодно в р. Западный Узбой из линзы поступает около 3 млн м<sup>3</sup> пресных вод.

В итоге анализа всех гипотез, В. Н. Кунин пришел к выводу, что источником постоянного питания Ясханской линзы могут быть лишь атмосферные осадки, за счет которых она и сформировалась. Но, поскольку зеркало вод этой линзы залегает на глубине 30—40 м, основную роль в ее питании играет не инфильтрация осадков, а процессы внутригрунтовой конденсации<sup>2</sup>.

К подобным представлениям пришли на основании своих исследований Ясханской линзы гидрогеологи Н. А. Огильви и В. Н. Чубаров<sup>3</sup>. Они счита-

ют, что просочившаяся в песок влага испаряется в атмосферу только из верхнего слоя толщиной 20—30 см. В слоях, лежащих ниже, влага, испаряясь, не выходит в атмосферу, а за счет вертикальной разности температур и, стало быть, давлений, проникает на глубину 6—10 м, где ежегодно конденсируется слой воды толщиной 17 мм.

Следует отметить, что грунтовые пресные воды обнаружены в барханных песках не только в Каракумах, но и в Кызылкумах, а также на п-ове Мангышлак (здесь пресноводные линзы, как и массивы песков, невелики).

Большие запасы пресных грунтовых вод открыты также в песчаных пустынях на юге Казахстана. Особенно обильны они в пустынях Муонкум, где эти воды выходят на поверхность в многочисленных пресноводных озерах, именуемых чуротами. Пресные грунтовые воды имеются также в песках к востоку от оз. Баскунчак на глубине 1—16 м.

Связь линз пресных вод с массивами барханных песков в пустынях Средней Азии не случайна. Ведь перевеваемые пески практически лишены частиц пыли и глины, и поэтому они обладают повышенной водопроницаемостью, которая втрое выше, чем в сероземных почвах. Соответственно, как показали наши исследования на юге Таджикистана, а также в песках Репетека (Юго-Восточные Каракумы), осадки в Каракумах втрое эффективнее, чем в поясе типичных сероземов. Не случайно в этой пустыне при скудных осадках преобладают заросшие пески с довольно хорошо развитой древесно-кустарниковой растительностью.

При отсутствии растений влага в песках испаряется в атмосферу лишь до глубины около 40 см. Потому что даже в самое жаркое время года максимальные температуры песка в течение суток проявляются лишь до этой глубины. Соот-

<sup>3</sup> Огильви Н. А., Чубаров В. Н. Изучение динамики влаги и процессов ее конденсации в зоне аэрации // Линзы пресных вод пустыни. М., 1963. С. 198—259.

<sup>2</sup> Кунин В. Н. Местные воды пустыни и вопросы их использования. М., 1959. С. 113.

ветственно в пределах этого слоя песка постоянно удерживается максимальное парциальное давление водяных паров. Под воздействием такого своеобразного пресса в слоях, лежащих ниже, пары перемещаются в глубь зоны аэрации, где они сжижаются. Естественно, перегонка паров в глубь песков наиболее интенсивно протекает летом, когда внутригрунтовое испарение и парциальное давление паров в верхней части зоны аэрации достигает максимальных величин.

С этим и связано повышение уровня пресных грунтовых вод в самое жаркое и сухое время года, а также тот факт, что купола линз состоят из ультрапресных вод, температура и плотность которых несколько выше температуры более минерализованных вод, лежащих ниже. Не случайно разгрузка пресноводных линз наиболее интенсивна летом и осенью. Эта особенность ярко проявилась при изучении гидрологами Г. Т. Лещинским и Б. Т. Кирстой водного баланса подпитываемого линзой пресноводного озера Ясхан<sup>4</sup>.

Итак, можно считать, что подпесчаные линзы пресных вод формируются за счет местных осадков. Выходит, они являются не реликтовыми, а, наоборот, молодыми образованиями, пресноводность и характер минерализации которых поддерживается постоянным притоком влаги.

Коснемся еще одного принципиального вопроса. Во многих работах процессы внутригрунтового испарения и последующего сжижения паров в пределах зоны аэрации относятся к конденсации. Но в почвенной гидрологии под конденсацией разумеется процесс сжижения атмосферных паров с образованием дополнительной влаги, притекающей извне. Между тем при перемещении влаги за счет разницы температур происходит лишь перегонка воды осадков, т. е. протекает процесс дистилляции. По нашим данным, на участках полупустынь и пу-



Барханные пески в Каракумах. Именно на таких участках в толще песков располагаются линзы пресных вод.

стынь, удаленных от водных акваторий, даже роса — продукт не конденсации, а дистилляции почвенной влаги<sup>5</sup>.

Таким образом, подпесчаные линзы пресных вод формируются в результате процессов инфильтрации и дистилляции. Во время выпадения осадков массивы барханных песков аккумуляруют влагу, а в сухой период они функционируют как мощные дистилляторы, работающие на неиссякающей солнечной энергии. С этим и связано удивительное свойство линз располагаться под повышенными участками массивов песков. При сбалансированном водозаборе эксплуатация этих подземных водохранилищ может продолжаться практически бесконечно.

Примером может служить многолетний опыт использования Ясханской линзы. Ее воды начали эксплуатировать в 1963 г., с 1970 г. и по сей день откачивают до 350 л/сек. Однако линза продолжает давать воду и в русло Западного Узбоя, тем самым обеспечивая существование ряда соленых, а также пресных озер Ясхан, Каратегелек и Топиатан. Казалось бы, многолетний забор во-

ды Ясханской линзы должен был сопровождаться постепенным увеличением их минерализации. Между тем минерализация воды, например, в скважине № 5 за период с 1964 по 1974 г. снизилась от 0,63 до 0,54 г/л. Это можно объяснить лишь мощным притоком к линзе ультрапресных вод — дистиллята. Ориентировочный расчет восполнения запасов пресных грунтовых вод вполне возможен на примере Ясханской линзы. В среднем за год в Приузбойских Каракумах выпадает 159 мм осадков, из них в ноябре — марте, когда испарение минимально, — 98 мм. Наблюдения показали, что 1 мм осадков промочивает 1 см песка. Таким образом, можно считать, что барханные пески над Ясханской линзой ежегодно увлажняются на метровую глубину. Учитывая, что испарение влаги из песка происходит до глубины не более 40 см, выходит, что подвижные пески, перекрывающие Ясханскую линзу, ежегодно аккумуляруют не 17 мм, а по меньшей мере 60 мм атмосферных осадков. Площадь подвижных барханных песков Приузбойских Каракумов легко подсчитать по аэрокосмическим снимкам.

В заключение следует подчеркнуть, что пресные воды пустынь представляют собой ценнейшие ресурсы природы. А потому они нуждаются не только в рачительном использовании, но и в надежной охране от загрязнения. Но это уже особая тема.

<sup>4</sup> Лещинский Г. Т., Кирста Б. Т. // Изв. АН ТуркменССР. 1955. № 4. С. 28—34.

<sup>5</sup> Попов К. П. // Пробл. освоения пустынь. 1978. № 2. С. 51—55.



## Итоги читательской анкеты

В ответ на вопросы «Анкеты читателя», напечатанной в № 8 за 1985 г., до 31 декабря 1985 г. пришло 561 письмо. Свыше 1 % читателей откликнулись на призыв высказать свое мнение о журнале, внести предложения по его дальнейшему улучшению. Мы с удовлетворением отмечаем высокую активность наших читателей. Для сравнения приведем пример: журнал «Иностранная литература», тираж которого почти в 7 раз выше тиража «Природы», в 1983 г. получил лишь 131 письмо с ответами на анкету (в отношении к тиражу 0,03 % читателей)<sup>1</sup>. Присланные в «Природу» материалы были обработаны в Вычислительном центре Института социологических исследований АН СССР по стандартным программам для вычисления одномерных и двумерных распределений. Одномерные распределения дают информацию об общем числе ответов на каждый вопрос анкеты. Двумерные распределения позволяют узнать число ответов на любой вопрос при условии одновременного ответа на другой вопрос. Например, пользуясь ими, можно сказать, какой процент читающих «Природу» аспирантов читает также «В мире науки» или какой процент выписывающих наш журнал физиков получает его свыше 8 лет.

Метод заочной анкеты — не самый репрезентативный в современной социологии. Тем не менее полученных ответов вполне хватает для статистически достоверных оценок. В целом

результаты добровольного опроса достаточно показательны для характеристики взаимоотношений читателя и «Природы».

### НАШИ ЧИТАТЕЛИ

По возрастам ответившие на анкету читатели распределяются следующим образом: до 15 лет — 1,4 %, 16—19 лет — 6,8 %; 20—24 года — 11,1 %; 25—30 лет — 15,2 %; 31—40 лет — 22,6 %; 41—50 лет — 19,7 %; 51—65 лет — 15,9 %; свыше 65 лет — 7,2 %.

По образованию: среднее — 13,2 % читателей; среднее специальное — 5,3 %; незаконченное высшее — 8,1 %; высшее — 72,3 %; аспирантура — 1,1 %. Нам прислали ответы 30 докторов наук (5,6 % общего числа ответивших) и 119 кандидатов наук (22,2 %).

По роду деятельности: физиков и астрофизиков — 17,2 %, биологов и медиков — 14,2 %, геологов — 11,7 %, химиков — 6,1 %, математиков — 2,5 %, психологов и философов — 1 %, служащих (в том числе инженерно-технических работников и преподавателей) — 24,6 %, учащихся — 12,3 %, рабочих — 7,7 %.

463 человека (84,5 %) и далее намерены выписывать «Природу», 34 человека (6,1 %) не хотят возобновлять подписку, остальные (9,4 %) ответили, что пока еще не приняли решения.

Большинство читателей — 77,8 % — получили журнал по подписке, 19,2 % — купили его в киоске «Союзпечать», 2 % — взяли в библиотеке.

Интересно отметить, что 74,1 % читателей выписывают «Природу» свыше трех лет (30,6 % — являются нашими подписчиками на протяжении 4—8 лет; 43,5 % — выписывают журнал свыше 8 лет); 25,9 % — получают его на протяжении 1—3 лет. Несколько десятков анкет пришло от наших старейших читателей, начавших

выписывать «Природу» более 20 лет назад; среди них некоторые знают журнал свыше 50 лет.

78,4 % ответивших на анкету читают каждый номер журнала; 11,6 % — большинство номеров за год; 7,2 % — отдельные номера; 2,9 % встретились с журналом впервые.

### ЧТО ЧИТАТЕЛИ ЧИТАЮТ

Самыми популярными разделами журнала являются «Новости науки» (его отметили 511 читателей) и «Астрономия. Астрофизика. Космические исследования» (392 читателя). Впрочем, немалого отстали и другие разделы: «Философия и история естествознания. Организация науки» — 359, «Рецензии. Новые книги» — 354, «Физика. Механика. Математика» — 343, «Биология. Медицина» — 340, «Экология. Охрана природы» — 337, «В конце номера» — 312, «Археология. Этнография» — 279, «Геология. География. Геофизика» — 265, «Океанология» — 252, «Химия» — 183.

Среди материалов, опубликованных в № 1—8 за 1985 г., абсолютное большинство корреспондентов отметили статьи: Либшер Д.-Э., Новиков И. Д. Река времени (№ 4). Хоккин С. Край Вселенной (№ 4). Ахундов М. Д. Пространство и время: от мифа к науке (№ 8).

Высокую оценку получили два тематических номера — «Бороться против войны, пока она не началась» (№ 6) и «Молодежь и задачи современной экологии» (№ 7).

Вот список остальных статей, заслуживших наибольшее одобрение читателей (в порядке полученного количества голосов):

Фейгенберг И. М. Принцип дополнителности в описании психических явлений (№ 2).  
Величко А. А. Природа у колыбели человечества (№ 3).  
Мостепаненко А. М., Мостепаненко В. М. Концепция вакуу-

<sup>1</sup> См.: Анкета «Иностранной литературы» // Иностранная литература. 1984. № 5. С. 231. На анкеты журналов «Наука и жизнь» и «Химия и жизнь» ответили соответственно 0,5 % и 0,44 % читателей. См.: Анкета читателей журнала «Наука и жизнь» // Наука и жизнь. 1984. № 10. С. 140. Анкета-85 // Химия и жизнь. 1986. № 5. С. 79.

ма в физике и философии (№ 3).  
**Фролов И. Т.** На пути к единой науке о человеке (№ 8).  
**Волькенштейн М. В.** Биологическая эволюция и эволюция макромолекулы (№ 6).  
**Герштейн С. С., Логунов А. А.** Единство фундаментальных сил природы и поиски глюболов — частиц из ядерного «клея» (№ 1).  
**Монастырский М. И.** Монополи и вихри: от Дж. Максвелла до наших дней (№ 5).  
**Мазин И. И., Максимов Е. Г.** Вычислительная физика — новая область науки? (№ 1).  
**Шнирельман В. А.** Происхождение домашних собак (№ 7).  
**Велихов Е. П.** Токамаки сегодня и завтра (№ 3).  
 Испытующие годы. Из писем П. Л. Капицы к матери 1921—1923 гг. (№ 1).  
**Капица С. П.** Поль Дирак (№ 3).  
**Короновский Н. В.** Эльбрус — действующий вулкан? (№ 8).  
**Балебанов В. М., Мороз В. И., Мухин Л. М.** Первый этап космической экспедиции «Вега»: исследование Венеры (№ 8).  
**Гурштейн А. А.** Наука и протонаука (№ 4).  
**Гречко В. В.** Генная инженерия: революция в биологии? (№ 3).  
**Поспелов Д. И.** Вычислительные машины становятся интеллектуальными (№ 4).  
**Фокин А. В., Коломиец А. Ф.** Диоксин — проблема научная или социальная? (№ 3).  
**Корогодни В. И.** Кариотаксоны, надежность генома и прогрессивная биологическая эволюция (№ 2).  
**Хлопов М. Ю.** Вселенная как лаборатория элементарных частиц (№ 5).  
**Николаева О. В.** Через систему Сатурна — к истории вещества планет (№ 4).

Кроме «Природы», многие хорошо знакомы и с другими научно-популярными изданиями. Журнал «Наука и жизнь» читают 34,1% читателей («Природы»; «Химия и жизнь» — 20,5%; «Знание — сила» — 19%; «В мире науки» — 7,9%; «Земля и Вселенная» — 6,9%; «Техника — молодежи» — 6%; «Квант» — 2,4%; «Наука в СССР» — 2,2%; «ЭКО» — 0,7%; «Изобретатель и рационализатор» — 0,2%.

Редакция и редакционная коллегия с удовлетворением от-

метили, что большая часть принявших участие в анкетировании высоко отозвалась о качестве публикуемых материалов, подчеркнула их актуальность и фундаментальность. Почти все ответившие на анкету считают «Природу» лучшим советским научно-популярным журналом.

### ЗА ЧТО ЦЕНЯТ «ПРИРОДУ»

По мнению читателей, главным достоинством журнала является большое количество содержащихся в нем новых сведений — 415 читателей отметили в анжете этот пункт. Другое важное достоинство состоит в том, что публикуемые в «Природе» материалы выражают авторитетные мнения крупных ученых: его отметили 290 читателей. Журнал ценят за его помощь в знакомстве с передовыми рубежами естественных наук и в выработке междисциплинарного подхода — 235 ответов; 218 читателей считают, что в «Природе» хорошо объясняются сложные проблемы современной науки. Корреспонденты отмечают также истинно научный подход и отсутствие сенсационности в подаче материала, разносторонность научной информации, обстоятельность и глубину, обобщающий характер публикаций. Нам пишут, что «Природа» помогает в самообразовании, увлекает в бесконечность познания, учит логике мироздания и, наконец, рекомендует хорошие книги.

Как оказалось, некоторым читателям журнал помогает не только в научной («использую в докладах и лекциях»), но и в семейной жизни («удовлетворяю свой интерес, делюсь знанием с мужем, потом объясняю сыну»), кое для кого «Природа» — эффективное средство «поддерживать необходимый тонус в исследовательской работе». А преподаватели иностранного языка берут материалы журнала как образец научно-популярного текста для перевода с русского языка на иностранный на занятиях со студентами и аспирантами.

Большинство читателей обращается к «Природе» из общего интереса к науке — 477 человек. На втором месте про-

фессиональная мотивация: 219 корреспондентов сообщили, что используют журнал в своей научной работе. 60 читателей отметили, что журнал помогает им в учебе, 56 используют его в общественной работе. Среди других мотивов можно отметить важность для читателей получения информации («из первых рук» (ведь авторы «Природы» — сами ученые: отсюда стопроцентная надежность информации) и стремление знать, что нового делается в науках, далеких от их специальности. Немало и тех, точку зрения которых выражает следующий ответ: «Для человека, любящего науку, чтение «Природы» — это прекрасный отдых, время раздумий об удивительных свойствах мироздания, чуде разума, жизни и космоса».

50% ответивших на анкету удовлетворены иллюстративным материалом и оформлением журнала; 43,6% — в основном удовлетворены; 6,4% — не удовлетворены.

### ЧТО ЧИТАТЕЛЯМ НЕ ПРАВИТСЯ

Большинство читателей — наши давние подписчики и любят свой журнал, в основном одобряя его курс, остающийся в принципиальных чертах неизменным и верным идеалам научности вот уже почти 75 лет. Ответы показали, что в адрес «Природы» имеются и нарекания, и конструктивные предложения. 3% читателей полагают, что журнал недостаточно популярен, 2,2% сетуют на то, что какая-либо тема оказалась «в загоне», в то время как иная (это отмечают 1,2% ответивших на анкету) занимает слишком много места в журнале. Изучение двумерных распределений показало, что наряду с пожеланиями, например, геологов давать «поменьше философии, а за этот счет увеличить раздел истории естествознания», столь же часто встречаются пожелания, скажем, физиков «сократить геологические материалы и увеличить количество статей по проблеме медицины» или биологов — «добавить экологических статей и печатать меньше физики». Тут все ясно: сколько людей — столько и мнений. Од-

нако в целом читатели довольны структурой журнала, а 2 % мнений, в которых предлагается увеличить или уменьшить представительство каких-либо наук на страницах «Природы», в среднем нейтрализуют друг друга и не выходят за пределы стандартного разброса при социологических опросах.

Приведем несколько нехарактерных, но любопытных замечаний. Читатели пишут, что в журнале следует давать еще больше иллюстраций (особенно цветных), сетуют на отсутствие в нем публикаций с продолжением и ...научной фантастики («как в "Химии и жизни"»), некоторые во что бы то ни стало требуют помещать в персоналиях домашние адреса авторов «для целей научной переписки». Как видим, не обошлось и без курьезов. Кстати, на последний запрос ответим, что после публикации авторы «Природы» получают много писем по адресам указанных мест работы.

Многие ответившие на анкету хотя, чтобы наши авторы избегали специальной терминологии (или, когда это невозможно, хотя бы поясняли ее) и чтобы в журнале вообще было «больше текста — меньше формул».

#### ЧТО ХОТЯТ ЧИТАТЬ ЧИТАТЕЛИ

В нашей анкете был вопрос о проблемах, которые следовало бы обсудить на страницах журнала — как прямой запрос о читательских потребностях и интересах. О переднем рубеже экологии хотят больше узнать 16 % ответивших на анкету, биологии — 15,7 %, физики — 14,6 %, космологии — 10,9 %, геологии — 9,2 %, гуманитарных наук — 9,2 %, философии естествознания — 7,3 %, психологии — 6,4 %, медицины — 5,9 %, информатики — 4,8 %. нас просят давать интервью с крупными советскими и зарубежными учеными, публиковать переводы наиболее интересных зарубежных научных статей, проводить на страницах журнала обсуждение дискуссионных тем. 8,6 % читателей призывают к расширению раздела «Новости науки». На это

можно сказать, что «Природа» и так дает больше информации о научных новинках, чем другие известнейшие в мире научно-популярные журналы, а подменить или дублировать реферативные издания — не наша цель. 9,1 % корреспондентов пишут о необходимости вести на страницах «Природы» диалог с читателями — со второго номера этого года «Диалог с читателем» стал постоянным разделом журнала. 19,4 % опрошенных читателей призывают смелее применять современные способы иллюстративного и графического оформления, некоторые не удовлетворены качеством полиграфического исполнения. К сожалению, в этом вопросе не все зависит от редакции. К нашему величайшему огорчению, мы иногда с трудом узнаем в тираже цветные иллюстрации, полученные с великолепных слайдов, любовно доставленных авторами (кстати, больше цветных иллюстраций просят давать 7,4 % читателей).

нас также просят «печатать ретроспективные обзоры по отдельным наукам, в особенности наукам о человеке», «делать больше тематических номеров (или по крайней мере посвящать один номер в году наиболее актуальной научной теме)», «публиковать полностью все нобелевские речи», «давать чаще поэзию и научный фольклор», призывают к тому, чтобы было «больше юмора в конце номера». Не все из этих предложений вписываются в традиции «Природы» — ведь каждый журнал имеет свое лицо и не должен подменять другие журналы и издания, но мы рассматриваем некоторые из них.

#### ТЕПЕРЬ И ВЫ БОЛЬШЕ ЗНАЕТЕ О СЕБЕ

Уважаемые читатели! Мы признательны всем, кто ответил на анкету, тем, кто по крайней мере задумался над ней. Мы знаем, вместе с редакцией и редакционной коллегией вы также стремитесь к тому, чтобы журнал стал более близким, полезным и интересным для вас. Заполненные вами анкеты пришли со всех концов нашей страны, из Москвы и столиц союзных республик, из всех извест-

ных научных центров, из многих вузов, а также из ряда зарубежных стран. Мы рады, что старейший в стране популярный естественнонаучный журнал, отмечающий в следующем году свой 75-летний юбилей, помогает вам в вашей работе и учебе, постоянно держит вас в курсе наиболее значительных научных свершений наших дней и славных дат в истории науки.

561 полученный ответ помог нам изучить и лучше понять ваши пожелания, запросы. Анкеты обсуждались на совещаниях редакции и редакционной коллегии, способствовали корректировке направления журнала. В редакции «Природы» постоянно ведется большая работа с читательской почтой. Мы получаем тысячи писем по самым разным вопросам; многие из них — статьи и заметки с просьбой о публикации.

Пользуясь случаем сообщаем вам, что материалы нашего журнала обычно являются авторскими изложениями собственных работ, опубликованных в специальной научной печати. Согласно требованиям «Природы», посылаемая статья (не более 20 страниц машинописного текста через 2 интервала; иллюстрации и текст в двух экземплярах) должна быть популярным (понятным специалисту с высшим образованием другого профиля) рассказом об исследованиях автора в той или иной области науки. Этого требует наше главное правило: «стопроцентно надежная информация — из первых рук». Если статья удовлетворяет этим требованиям и интересно и хорошо написана, она посылается на рецензию к крупнейшим специалистам по рассматриваемой автором теме или проблеме. При положительном решении рецензентов и утверждении редакционной коллегией статья, если это диктуется необходимостью, дорабатывается с участием автора в редакции и затем выходит в свет.

Уважаемые читатели! Мы больше узнали о вас, о ваших интересах и потребностях. Мы постараемся учесть в своей работе ваши пожелания. Надеемся, что теперь и вы больше знаете о себе.



Космические исследования

**Запуски космических аппаратов в СССР (март — апрель 1986 г.)**

В марте—апреле 1986 г. в Советском Союзе было запущено 10 космических аппаратов, в том числе 6 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства.

«Союз Т-15» доставил на орбитальную станцию «Мир» экипаж в составе: командир корабля летчик-космонавт СССР Л. Д. Кизим и бортинженер летчик-космонавт СССР В. А. Соловьев.

Автоматические грузовые корабли «Прогресс-25» и «Прогресс-26» доставили на орбитальную станцию «Мир» топливо для объединенной двигательной установки, продукты питания, воду, оборудование и аппаратуру для оснащения станции.

Очередной спутник связи «Молния-3» предназначен для обеспечения эксплуатации системы дальней телефонно-те-

леграфной радиосвязи, передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита-2», а также в рамках международного сотрудничества.

Космические исследования

**«Союз Т-15»**

13 марта 1986 г. в 15 ч 33 мин (здесь и далее время московское) в Советском Союзе был осуществлен запуск космического корабля «Союз Т-15» с экипажем в составе: командир корабля летчик-космонавт СССР Л. Д. Кизим и бортинженер летчик-космонавт СССР В. А. Соловьев. Ракета-носитель вывела корабль на околоземную орбиту, параметры которой после коррекции составили: высота в перигее 240 км, в апогее — 298 км, наклонение 51,6°, период обращения 89,7 мин. 15 марта в 16 ч. 38 мин «Союз Т-15» состыковался с орбитальной научной станцией

«Мир»<sup>1</sup>, и космонавты перешли в ее помещение.

Программа полета предусматривала, во-первых, расконсервацию станции, испытание элементов ее конструкции, бортовых систем, отладку и настройку агрегатов и аппаратуры. Станция готовилась в качестве базового блока для создания в дальнейшем постоянно действующего пилотируемого комплекса со специализированными модулями научного и народнохозяйственного назначения. Во-вторых, в программу полета вошли научно-технические исследования и эксперименты.

В марте—апреле космонавты выполнили операции, необходимые для перевода станции в режим пилотируемого полета, и проверили функционирование различных бортовых систем и оборудования.

Экипаж разгрузил два автоматических грузовых корабля «Прогресс», доставивших на орбиту топливо, продукты питания, воду, а также аппаратуру и оборудование, необходимые для обеспечения длительного функционирования станции «Мир». «Прогресс-25», запущенный 19 марта в 13 ч 08 мин, 21 марта в 14 ч 16 мин состыковался с орбитальным комплексом «Мир» — «Союз Т-15». Его полет в составе орбитального комплекса продолжался до 26 апреля 1986 г., после чего он был отстыкован от станции; в результате торможения корабль перешел на траекторию спуска, вошел в плотные слои атмосферы и прекратил существование.

«Прогресс-26», запущенный 23 апреля в 23 ч 40 мин, 27 апреля в 01 ч 26 мин был состыкован с орбитальным комплексом «Мир» — «Союз Т-15».

<sup>1</sup> Подробнее об этой станции см.: Орбитальная станция «Мир» // Природа. 1986. № 6. С. 106.

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Союз Т-15»	13.III	240	298	51,6	89,7
«Прогресс-25»	19.III	189	268	51,6	88,8
«Космос-1736»	21.III	255	278	65	89,6
«Космос-1737»	25.III	230	442	73	91
«Космос-1738»	4.IV	36 560	36 560	1,4	1 477
«Космос-1739»	9.IV	182	352	64,9	89,5
«Космос-1740»	15.IV	208	396	72,9	90,2
«Космос-1741»	18.IV	784	824	74	100,8
«Молния-3»	18.IV	638	40 664	62,9	736
«Прогресс-26»	23.IV	190	274	51,6	88,8

Космонавты провели испытание новой радиотехнической системы, позволяющей надежно обеспечить связь экипажа с Центром управления полетом через спутник-ретранслятор в то время, когда комплекс находится вне зоны радиовидимости с территории Советского Союза. Были проведены пробные сеансы двусторонней связи, а в качестве ретранслятора использовался спутник «Луч» («Космос-1700»), находящийся на геостационарной орбите.

Новая радиотехническая система связи позволит значительно расширить возможности управления сложным научно-исследовательским комплексом, увеличить объем и оперативность получаемой с его борта информации.

Отладив новую клиническую аппаратуру «Гамма», космонавты с ее помощью проводили систематические медицинские обследования. Для определения динамических характеристик сложной космической системы, состоящей из базового блока и двух кораблей, был выполнен технический эксперимент «Резонанс», который повторили в процессе коррекции орбиты.

Много времени экипаж отводил геофизическим исследованиям по заданиям специалистов различных отраслей народного хозяйства. Выполнены визуальные наблюдения и съемка ручной фотоаппаратурой отдельных районов республик Средней Азии, Украины, Краснодарского края, Кавказа. Их цель — оценка возможностей определения из космоса озимых после зимовки. Наблюдались также геологические объекты в районе города Душанбе, отдельные районы акватории Атлантического океана.

По методике, разработанной Госцентром «Природа», экипаж провел несколько серий визуальных наблюдений типовых природных объектов: изучалось влияние атмосферных помех и условий освещенности на геофизические исследования.

В начале мая космонавты завершили первый этап работ на орбитальной станции «Мир».

**С. А. Никитин**

Москва

## Космические исследования

### Спутники «Спот-1» и «Викинг»

22 февраля 1986 г. в 01 ч 44 мин по Гринвичу с полигона в Куру (Французская Гвиана) ракетой-носителем «Ариан-1» запущены спутники «Спот-1» и «Викинг». Это 16-й запуск ракеты-носителя типа «Ариан» и последний запуск модели «Ариан-1»; в дальнейшем планируется переход на модификации этой ракеты-носителя с более высокими энергетическими характеристиками.

«Спот-1», предназначенный для исследования природных ресурсов, создан Европейским космическим агентством по французскому проекту. Спутник отделился от ракеты-носителя через 14 мин после старта и вышел на полярную солнечно-синхронную орбиту с высотой в перигее 818 км, в апогее — 833 км и наклоном 98,8°.

Его полная масса 1830 кг, размеры корпуса 2X2X3,5 м; на выносной штанге к корпусу крепится панель с солнечными элементами (размах панелей 15,6 м, вырабатываемая электроэнергия 1 кВт).

Основная полезная нагрузка — два идентичных телескопа для получения изображений земной поверхности. Каждый телескоп обеспечивает получение изображений в четырех спектральных диапазонах: 0,5—0,59 мкм (зеленый диапазон); 0,61—0,68 мкм (красный); 0,79—0,89 мкм (ближний инфракрасный — многоспектральный режим съемки); 0,51—0,73 мкм (панхроматический режим съемки). Поле зрения телескопа 4,13°. Разрешение при многоспектральном режиме 20 м, при панхроматическом — 10 м; ширина охвата поверхности в кадре 60 км.

Согласно первым сообщениям, после выхода «Спот-1» на орбиту его системы функционируют нормально.

Шведский научный спутник «Викинг» предназначен для исследований магнитосферы в полярных областях и природы полярных сияний. «Викинг» был

отделен от ракеты-носителя примерно через 5 мин после «Спот-1». Бортовой твердотопливный двигатель обеспечил его перевод с полярной круговой орбиты на эллиптическую с высотой в перигее 817 км, в апогее — 13 527 км, наклоном 98,8 и периодом обращения 262,2 мин (около 4,5 ч).

Масса «Викинга» 535 кг, корпус — восьмигранный цилиндр высотой около 0,5 м и диаметром 2 м. В полете он стабилизируется вращением со скоростью 3 об/мин, ориентация оси вращения — геомагнитная (на основании информации от солнечного датчика, датчика земной вертикали и магнитометра). Электроэнергией приборы и служебные системы обеспечиваются солнечными элементами (80 Вт), смонтированными с внешней стороны корпуса на восьми гранях.

На спутнике установлена научная аппаратура для проведения пяти экспериментов:

по измерению трех компонентов напряженности электрического поля; используются три ортогональных сферических датчика, смонтированных на 40-метровых и 4-метровых штангах (подготовлен Королевским технологическим институтом в Стокгольме);

по изучению напряженности магнитного поля Земли; магнитометр, изготовленный Лабораторией прикладной физики Университета Дж. Гопкинса (США), смонтирован на конце 2-метровой радиальной штанги;

по изучению частиц; прибор включает семь спектрометров для измерения состава, энергии и распределения энергичных электронов и ионов. Особый интерес представляет возможность регистрации протонов и ионов кислорода, определения мест их появления и механизма ускорения до очень высоких энергий (подготовлен Геофизическим институтом в Кируне);

по изучению волновых явлений и взаимодействий волн и частиц в магнитосфере (подготовлен Ионосферной обсерваторией в Упсале и датским Институтом космических исследований);

по получению изображений в ультрафиолетовом диапа-

зоне северного полярного сияния с помощью двух телевизионных камер. Частотный диапазон одной камеры позволяет регистрировать распределение атмосферного кислорода в зоне полярного сияния, частотный диапазон другой камеры — регистрировать распределение молекулярного азота. Камеры способны делать снимки каждые 20 с. Впервые планируется исследовать полярные сияния на ночной и дневной сторонах Земли путем получения изображений с высоким пространственным (40 км) и временным разрешением.

Характерные особенности научной программы «Викинга»: одновременные измерения всех наиболее важных параметров в магнитосфере и в авроральных зонах; возможность исследовать процессы и явления в этой очень динамичной области с высоким пространственным, спектральным и временным разрешением.

Первые 100 витков проводилась проверка работы научных приборов и бортовых систем «Викинга». С 13 марта начались сеансы научных измерений.

Air et Cosmos. 1986. № 1085. P. 41—43 (Франция).

#### Космические исследования

### Изучение полярных областей Солнца

Национальное управление по аэронавтике и исследованию космоса США (НАСА) планирует в 1986 г. запуск космического аппарата «Улисс», предназначенного для изучения полярных областей Солнца.

До сих пор ни один из космических аппаратов не отклонялся от плоскости земной орбиты более чем на 25°. «Улисс» должен достичь 80° гелиоцентрической широты (экватор Солнца и плоскости планетных орбит в Солнечной системе лежат в пределах всего нескольких градусов от плоскости эклиптики). Для этого он будет выведен на орбиту, вначале проходящую вблизи Юпи-

тера, мощное притяжение которого и отклонит траекторию аппарата в требуемом направлении.

Главная научная задача эксперимента — сбор информации о состоянии полей и частиц в неизученной области, лежащей между плоскостью эклиптики и высокими гелиоцентрическими широтами. Эллиптическая орбита «Улисса» выбрана таким образом, чтобы аппарат смог пройти над обоими полюсами Солнца и провести длительные наблюдения гелиосферного магнитного поля, плазмы солнечного ветра, космических лучей, радиоизлучения Солнца, плазменных волн, рентгеновского и  $\gamma$ -излучения.

Известно, что многие процессы, связанные с активностью Солнца, в его высоких широтах протекают иначе, чем в приэкваториальных областях. Так, магнитная топология Солнца вблизи экватора существенно отличается от его приполюсного района. Вращение Солнца также препятствует изучению некоторых процессов, которые гораздо более удобно наблюдать, «глядя» на Солнце из высоких широт. Такие наблюдения позволяют построить трехмерную модель гелиосферы, определить изменения в геометрии магнитных полей и динамике солнечного ветра в зависимости от широты, исследовать процессы ускорения и распространения частиц различных энергий в гелиосфере.

Eos (Transactions of the American Geophysical Union). 1985. Vol. 66. № 47. P. 1183 (США).

#### Астрофизика

### «Горячая» модель формирования галактик

Исследования последних лет показали, что рождение и эволюция галактик проходили много сложнее, чем представлялось до сих пор. Так, обнаружилось, что в галактиках содержание тяжелых элементов (тяжелее водорода и гелия) тем больше, чем больше их масса; около половины всей массы тяжелых элементов находится в горячем межгалактическом

газе; звездное население гигантских галактик типа нашей не однородно, а делится на несколько групп, сильно различающихся по возрасту и химическому составу.

Основываясь на этих фактах, А. А. Сучков с сотрудниками (Ростовский государственный университет) предлагают новую картину формирования галактик, в которой можно выделить четыре фазы:

вначале (как и в «классической» картине) происходит сжатие газовой протогалактики, но при этом не весь газ, а лишь небольшая его часть превращается в звезды;

затем сверхновые этого поколения звезд, взрываясь, обогащают протогалактику тяжелыми элементами; химический состав газа становится нормальным. Одновременно сверхновые разогревают галактику до температуры  $10^7$ — $10^8$  К;

протогалактика, таким образом, становится «горячей»; сжатие сменяется разлетом, процесс образования звезд останавливается. Часть газа уходит в межгалактическое пространство, образуя наблюдаемый там сейчас горячий газ с нормальным химическим составом; через миллиарды лет оставшаяся часть газа сожмется и остынет, и тогда произойдет второй цикл образования звезд, уже из вещества с нормальным химическим составом.

Так в гигантских галактиках возникают две группы звезд, сильно различающихся возрастом и химическим составом. В карликовых галактиках после стадии горячей протогалактики газ вообще не удерживается, поэтому там наблюдаются только звезды первого поколения (с дефицитом тяжелых элементов).

Численные расчеты подтвердили возможность такой картины при условии, что в галактиках есть «скрытая» масса. При этом обнаружилось, что в горячей протогалактике формируется плотное холодное ядро, условия в котором благоприятны для процесса образования звезд. Ядро имеет резкую границу, за которой тянется протяженная разреженная горячая оболочка, почти не меняющаяся спустя 2—3 млрд лет после разогрева протогалактики. Параметры ядра и оболочки согла-

суются с наблюдаемыми характеристиками галактик и обнаруженных у них недавно горячих газовых корон. Таким образом, горячие короны естественно возникают в рамках «горячей» модели. В отличие от классической картины, «горячая» модель объясняет также размеры галактик; в ней оказываются выделенными два значения массы: первая — близкая к массам звезд, вторая — к массам шаровых скоплений.

Астрономический циркуляр. 1986. № 1429.

### Астрофизика

## Новый метод измерения постоянной Хаббла

Группой исследователей из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра (США) и Института радиоастрономии им. М. Плана (ФРГ) установлено новое значение постоянной Хаббла  $H=65$  км/с · Мпк. Это значение — промежуточное между значениями, полученными ранее двумя группами астрономов: 50 км/с · Мпк (Э. Сэндидж и Дж. Тамман) и 100 км/с · Мпк (Дж. Воклер и Дж. Ботан). Исследователи наблюдали расширение радиоизображения сверхновой SN 1979c в галактике M 100. Измерения велись на радиointерферометре со сверхдлинной базой в сантиметровом диапазоне длин волн в течение 1981—1984 гг. (взрыв сверхновой SN 1979c произошел, по-видимому, 1 апреля 1979 г.).

Известно, что любой внегалактический объект удаляется от нас со скоростью, пропорциональной расстоянию до него. Коэффициент пропорциональности и есть постоянная Хаббла  $H$ , характеризующая темп расширения Вселенной. Значение  $H$  постоянно во всей Вселенной, но зависит от времени. Хотя расширение Вселенной открыто около 50 лет назад, надежного значения  $H$  до сих пор не существует. Трудности связаны с тем, что при использовании оптических методов расстояния до удаленных галактик определяются с большой ошибкой.

В новом методе по радио-наблюдениям вычислялась угловая скорость расширения сверхновой. Зная скорость расширения сверхновой (в линейной шкале) по доплеровскому сдвигу спектральных линий в оптическом диапазоне, можно, зная линейную скорость на угловую, получить расстояние до сверхновой. Оно оказалось равным 19 Мпк. Отсюда  $H$  равно 65 км/с · Мпк.

Однако неопределенность в значении  $H$  еще довольно велика. Исследователи предполагают в дальнейшем улучшить оценку постоянной Хаббла. Во-первых, использование интерферометра со сверхдлинной базой (две антенные решетки, расположенные в США и Европе) позволит повысить точность, с которой определяется угловая скорость расширения радиоизображения сверхновой. Во-вторых, получение радиоизображения на различных длинах волн даст возможность точнее указать, как скорость расширения ударной волны (которая и определяется радиоизмерениями) отличается от скорости расширения плотного нагретого газа, определяемой оптическими методами.

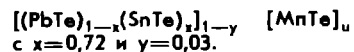
Знание истинного значения постоянной Хаббла позволило бы более надежно установить возраст Вселенной и ее видимый размер.

Nature. 1985. Vol. 318. № 6041. P. 25—30 (Великобритания).

### Физика

## Ферромагнетизм, вызванный изменением концентрации носителей

Группе польских и американских исследователей (Институт физики АН ПНР и Массачусетский технологический институт) впервые удалось непосредственно наблюдать влияние концентрации носителей на температуру ферромагнитного перехода в полумагнитных полупроводниках. Изучались свойства твердых растворов замещения



В них магнитные ионы Mn хаотично распределены по узлам границентрированной кубической подрешетки, входящей в исходную кристаллическую решетку типа каменной соли. В исследовавшихся твердых растворах концентрация олова менялась в произвольных пределах, а содержание марганца могло достигать 15—20%. Соединения обладали дырочной проводимостью, т. е. свободными носителями являлись дырки. Управляли их концентрацией путем отжига в газовой среде, насыщенной парами олова. Это уменьшало число вакансий металла и соответственно — число дырок. С помощью такого метода концентрацию носителей с можно было менять более чем в 10 раз: от  $1 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  до  $1,4 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ .

Обнаружено, что существует граничная концентрация  $s_{\text{кр}} \approx 3 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ , при превышении которой наблюдается резкий ферромагнитный переход вблизи температуры Кюри, равной 4К. При уменьшении концентрации носителей ниже  $s_{\text{кр}}$  температура Кюри быстро падает и образец остается парамагнетиком вплоть до самых низких температур.

Регистрация ферромагнитного перехода производилась путем измерений теплоемкости и намагниченности. Магнитная восприимчивость образцов выше точки перехода очень хорошо описывается законом Кюри. Все методики в пределах ошибки давали одинаковые значения температуры ферромагнитного перехода.

Среднее расстояние между магнитными ионами Mn довольно большое, около 13 Å, поэтому за установление ферромагнитного перехода должно быть ответственно взаимодействие с большим радиусом действия. По-видимому, это косвенное обменное взаимодействие Рудермана—Киттеля—Косуды—Иосиды через дырочные носители. Изменяя концентрацию носителей, можно непосредственно управлять силой такого взаимодействия. Резкое падение температуры Кюри при концентрации ниже граничной скорее всего связано со свойственным раствором замещения сильным беспорядком — в ре-

зультате возможна конкуренция между ферромагнитным упорядочением и переходом в состояние спинового стекла.

Physical Review Letters. 1986. Vol. 56. № 7 P. 777—779 (США).

#### Физика

### Сверхпроводимость и магнетизм соединений с тяжелыми фермионами

В сверхпроводниках с тяжелыми фермионами куперовские (сверхпроводящие) пары образуются из электронов с очень большой эффективной массой, порядка 100—1000  $m_0$ , где  $m_0$  — масса свободного электрона. Отсюда и название этого класса сверхпроводников. В качестве типичных сверхпроводников с тяжелыми фермионами можно назвать соединения  $CeCu_2Si_2$ ,  $UBe_{13}$ ,  $UPt_3$ <sup>1</sup>.

Предполагается, что характер сверхпроводимости тяжелых фермионов необычный — возможно образование сверхпроводящих пар из электронов с одинаковыми ориентациями спинов. (Во всех известных сверхпроводниках куперовские пары состоят из электронов с антипараллельными спинами.) Однако однозначного вывода о характере сверхпроводимости тяжелых фермионов пока сделать нельзя. Природа возникновения большой эффективной массы у электронов также не вполне ясна. Большинство исследований связывают ее с резонансным рассеянием электронов на локализованных магнитных моментах (эффект Кондо).

Исследования голландских физиков из лаборатории им. Камерлинг-Оннеса показали, что в соединении с тяжелыми фермионами  $URu_2Si_2$  сверхпроводимость сосуществует с магнитным переходом атомов U в антиферромагнитное состояние при температуре  $T_m=17,5$  К.

Соединение  $URu_2Si_2$  — первое, где температура сверхпроводящего перехода  $T_c=0,8$  К намного меньше температуры магнитного перехода локализованных моментов  $T_m$ . Во всех известных стехиометрических магнитных сверхпроводниках реализуется обратная ситуация, когда по мере понижения температуры сначала происходит сверхпроводящий переход и только потом магнитный. Лишь в ряде сплавов  $T_m$  на несколько десятков процентов превосходит  $T_c$ .

Антиферромагнитный переход в  $URu_2Si_2$  ярко проявляется в изломе при  $T-T_m$  температурной зависимости магнитной восприимчивости и в резком пике теплоемкости. Восприимчивость монокристаллов  $URu_2Si_2$  сильно анизотропна, и, по-видимому, эта анизотропия ответственна за анизотропию критических полей в сверхпроводящем состоянии. Большой интерес представляли бы нейтроннографические исследования антиферромагнитной структуры  $URu_2Si_2$ .

Изучение этого интересного соединения, в котором наблюдаются сверхпроводимость, магнетизм и тяжелые фермионы, должно дать новую информацию о магнетизме и сверхпроводимости, об их взаимодействии.

Physical Review Letters. 1985. Vol. 55. № 24. P. 2727—2730 (США).

#### Физика

### Импульсные ультрафиолетовые лазеры для фотолитографии

При изготовлении интегральных схем и некоторых других приборов микроэлектроники необходимы элементы размером менее 1 мкм. Чтобы создать их методами фотолитографии, требуются источники ультрафиолетового излучения с длиной волны около 0,3 мкм (разрешающая способность фотолитографии в значительной степени ограничивается дифракцией — разрешение тем выше, чем меньше длина волны). В ультрафиолетовом спектральном диапазоне большой интерес

<sup>1</sup> Подробнее об этом см., напр.: Алексеевский Н. Е., Хомский Д. И. Сверхпроводники с тяжелыми фермионами // Усп. физ. наук. 1985. Т. 147. С. 767—779.

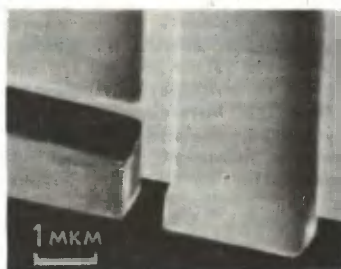
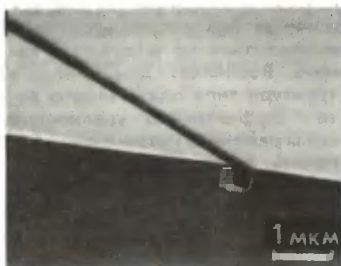
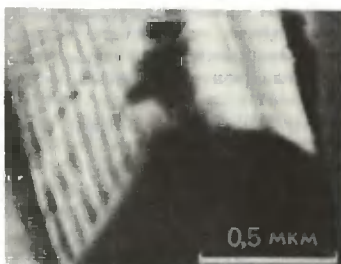
#### Физика

### Возбуждение активной среды лазера

Интенсивное возбуждение рабочей среды молекулярных газовых лазеров в больших объемах при средних и высоких давлениях ограничено из-за «шнурования» газового разряда. Явление состоит в том, что с увеличением давления и (или) мощности накачки тлеющий разряд стягивается в узкий шнур (или несколько шнуров), заполняющий лишь малую часть разрядного объема. В таком шнуре оптическая однородность плазмы нарушена и температура

Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. № 1. С. 25—28.

<sup>1</sup> Подробнее об этом см.: «Плазмостойкой» лазер // Природа. 1977. № 12. С. 115.



Фотография профиля полоски в фоторезисте, полученная с помощью растрового электронного микроскопа (вверху). Профили прямоугольного сечения в фоторезисте, полученные при уменьшении расстояния между маской и фоторезистивной пленкой (в центре и внизу); паразитная периодическая модуляция края отсутствует.

представляют импульсные эксимерные и азотные лазеры, обладающие высокой мощностью излучения. Такие лазеры позволяют проводить экспонирование при фотолитографии в режиме одиночного импульса, что способствует существенному повышению точности воспроизведения элементов изображения.

Однако прежде чем применять такие лазеры, необходимо знать, как влияют высокая интенсивность (до  $1 \text{ МВт/см}^2$ ) и высокая монохроматичность ( $\lambda/\Delta\lambda \sim 10^3$ ) их излучения на разрешающую способ-

ность и качество изображения. Ведь повышение интенсивности и монохроматичности может иметь и отрицательные последствия — в облучаемом фоторезисте возникают эффекты и стоячие волны света.

В Институте общей физики АН СССР исследовали литографический процесс с использованием азотного лазера ( $\lambda = 337 \text{ нм}$ ) с энергией в импульсе  $5 \text{ мДж}$  при длительности  $10 \text{ нс}$ . Экспонировались фоторезистивные пленки со сверхчувствительным компонентом на основе нафтохинондиазидов.

При длительности импульса  $10 \text{ нс}$  плотности мощности  $1 \text{ МВт/см}^2$  соответствует плотность энергии  $10 \text{ мДж/см}^2$ . Эксперименты показали, что при повышении плотности энергии до таких значений особых изменений в процессе формирования фотолитографического изображения не происходит.

Когда пленка фоторезиста, находящаяся на отражающей подложке, облучалась монохроматическим лазерным светом, за счет интерференции падающей и отраженной волн возникала стоячая волна, т. е. узлы и пучности интенсивности излучения. При этом энергия, поглощенная пленкой, периодически менялась по ее глубине. В результате при расстоянии между маской, формирующей изображение, и пленкой порядка  $1,5 \text{ мкм}$  на краю профиля изображения возникала паразитная периодическая структура.

Эксперименты показали, что эффект стоячих волн резче выражен на больших расстояниях от маски. Уменьшение этого расстояния от  $1,5$  до  $0,3 \text{ мкм}$  позволило избавиться от паразитной периодической структуры и сформировать резкие профили прямоугольного сечения.

Квантовая электроника. 1985. Т. 12. № 12. С. 2498—2501.

#### Биохимия

### Курение повреждает ДНК плаценты

Предполагается, что химические вещества, содержащиеся в табачном дыму, вызывают

повреждение ДНК, что в итоге ведет к злокачественному перерождению клеток. Р. Эверсон (R. B. Everson) из Национального института охраны окружающей среды и его коллеги из ряда научных учреждений США показали, что курение в период беременности приводит к химической модификации ДНК плаценты.

В экспериментах ДНК из образцов плаценты курящих женщин реагировала с антителами против ДНК, модифицированной канцерогенным производным бензопирена, которое содержится в табачном дыму. Установлено также, что модифицированные нуклеотиды содержались в ДНК 16 образцов плаценты (из 17 исследованных) курящих женщин и только в 3 образцах из 14 у некурящих. Одна из трех некурящих женщин, у которых были определены модификации ДНК, по 16 часов находилась в помещении, где много курили.

Есть все основания полагать, что подобные изменения под влиянием веществ табачного дыма происходят не только с ДНК плаценты, но и с ДНК других органов и тканей. Вероятно, повреждается и ДНК плода курящих беременных женщин.

Science. 1986. Vol. 231. № 4733. P. 54—57 (США).

#### Молекулярная биология

### Онкобелок вызывает дифференцировку клеток

Как влияют белковые продукты онкогенов и протоонкогенов на пролиферацию и дифференцировку клеток? Для ответа на этот вопрос группа сотрудников лаборатории Колд-Спринг Харбор (Эмеривилл, США) во главе с Дж. Ферамиско (J. R. Feramisco) использовала белковые продукты онкогена *ras* (активная форма) и соответствующего ему протоонкогена (неактивная форма).

Дифференцировка, или появление различий в исходно однородной клеточной популяции, свойственна всем клеткам, так же как и пролиферация, т. е. размножение делением. Как



правило, по мере дифференцировки способность к пролиферации снижается, и высокоспециализированные клетки размножаться не способны. При образовании опухоли безудержно пролиферирующие клетки теряют всякие черты дифференцировки. В этом случае говорят о трансформации клетки, что часто связано с активацией клеточных протоонкогенов. При активации протоонкоген претерпевает некоторые перестройки (т. е. становится онкогеном), причем соответственно изменяется и белковый продукт гена.

С помощью микроманипулятора исследователи вводили продукт активного онкогена — онкобелок — в здоровые клетки, что вызывало, как и ожидалось, пролиферацию дифференцированных клеток и даже временную их трансформацию. Столь же объяснимым было и восстановление нормального фенотипа у трансформированных клеток после введения в цитоплазму антител, связывающих онкобелок *ras*<sup>1</sup>.

Затем онкобелок ввели в опухолевые клетки, и это вызвало их дифференцировку. Иными словами, трансформированные клетки теряли свойства опухоли под влиянием онкобелка! Морфологические признаки дифференцировки появлялись через 10—15 часов после инъекции и сохранялись несколько дней. Интересно, что продукт неактивной формы гена *ras* — протоонкогена — подобным действием не обладает.

Cell. 1985. Vol. 42. № 3. P. 841—848 (США).

#### Иммунология

### Как работают клетки-убийцы

В уничтожении опухолевых клеток или клеток, пораженных вирусом, основную роль играют так называемые клетки-

киллеры (от англ. killer — убийца). Установлено, что киллеры повреждают поверхностные мембраны атакуемых клеток, так что в последних образуются цилиндрические поры диаметром от 5 до 16 нм. С появлением таких трансмембранных каналов возникает осмотический шок, и клетка гибнет.

Американские исследователи из Института Солка и Университета Южной Калифорнии во главе с Дж. Денпертом (G. Denpert) выяснили, что трансмембранные каналы образуются особыми белками, называемыми перфорином, которые хранятся в виде мономеров в гранулах клеток-киллеров. После внедрения в мембрану клеток-мишеней перфорины полимеризуются при участии ионов кальция в цилиндрические образования.

Известно, что кислая среда (рН 5,4) прерывает цитотоксической активности киллеров. Указывая, что гранулы с перфорином в клетках-киллерах содержатся в кислой среде, авторы предполагают, что именно эта зависимость от рН среды прерывает полимеризацию перфоринов, которая была бы губительной для самих киллеров.

Для формирования цилиндрических полиперфоринов в мембранах нет нужды в особых мембранных рецепторах или каких-либо иных специальных белках. Это установлено в экспериментах, моделирующих весь процесс на мембранах, построенных лишь из липидов. Следовательно, для образования полиперфоринов не требуется активного участия клетки-мишени.

Journal of Immunology. 1985. Vol. 135. № 6. P. 4245—4251 (США).

#### Медицина

### Соматолиберин вместо соматотропина

Установлена химическая структура и осуществлен синтез соматолиберина, гормона, выделяемого гипоталамусом и регулирующего образование в гипофизе соматотропина — гормона роста. Группа исследова-

телей из Медицинского центра штата Виргиния (Шарлоттсвилл, США) во главе с М. Торнером (М. О. Thorner) успешно применила соматолиберин в лечении двух детей с задержкой роста. Гормон вводился с помощью носимого инфузионного аппарата, обеспечивавшего ежедневные 8-кратные инъекции на протяжении 6 месяцев.

После инъекций отмечалось увеличение содержания соматотропина в тканях и другие биохимические сдвиги, свидетельствующие об усилении процессов роста. До лечения скорость роста первого ребенка (10 лет, рост 106 см, костный возраст 4,5 лет) составляла 4,6 см в год, а второго (9 лет, рост 107 см, костный возраст 6 лет) — 2,1 см в год. После 28-недельного лечения соматолиберином скорости увеличились соответственно до 7,1 и 13,7 см в год.

Авторы указывают, что новый гормональный препарат более эффективен, физиологичен, удобен и безопасен в терапии, чем соматотропин, применяемый уже более 20 лет. New England Journal of Medicine. 1985. Vol. 312. № 1, P. 4—9 (США).

#### Медицина

### Вакцина против опухолей

Можно ли с помощью вакцинации предупредить возникновение злокачественных опухолей? Исследования, проведенные сотрудниками Отделения патологии Бристольского университета (Великобритания) под руководством М. Эпштейна (М. А. Epstein) дают положительный ответ применительно к двум видам опухолей — лимфоме Беркитта и карциноме носоглотки, которые могут возникать при проникновении в организм вируса Эпштейна — Барр, относящегося к семейству вирусов герпеса.

В работе по созданию противоопухолевой вакцины использовался антиген, выделенный из оболочки вируса Эпштейна — Барр. Этот антиген, вызывающий образование в крови специфических, нейтрализую-

<sup>1</sup> См. об этом: Обратная трансформация раковых клеток специфическими антителами // Природа. 1986. № 3. С. 106.

щих вирус антител, представляет собой гликопротеин с молекулярной массой 340 тыс. Д. Исследования проводились на обезьянах из рода тамаринов (*Saguinus oedipus oedipus*), представляющих собой единственную модель для испытания патогенных свойств вируса Эпштейна — Барр, который у этих животных вызывает образование злокачественной лимфомы. После иммунизации тамаринов антигеном их заражали высокими дозами вируса, вызывавшими у контрольных, неиммунизированных животных появление злокачественных опухолей в селезенке, печени, почках и других органах. У животных, подвергнутых иммунизации, проявления заболевания были тем слабее, чем более высокий уровень антител отмечался в их крови. При определенном содержании антител опухоли вообще не появлялись. Иммунитет сохранялся в течение всех 9 месяцев наблюдения.

Результаты работы показывают, что выделенный авторами антиген может успешно использоваться как прототип вакцины для защиты животных, чувствительных к действию вируса Эпштейна — Барр

Nature. 1985. Vol. 318. № 6043. P. 287—289 (Великобритания).

ников (кортикостероидов и адреналина) в крови у шахматистов ниже, чем у контрольных испытуемых. То же относится и к норадреналину — веществу, сходному с адреналином по химической структуре и физиологическому эффекту, но служащему не гормоном, а передатчиком импульсов в нервной системе. Перед началом соревнования содержание гормонов еще больше снижается, норадреналина — резко повышается. С началом игры наблюдается стремительный подъем концентрации адреналина, а затем и кетостероидов. Через 3—4 дня после окончания соревнования содержание гормонов падает до исходного уровня.

Таким образом, у высококлассных шахматистов выявлен двухэтапный механизм гормональной защиты: снижение уровня «гормонов стресса» вне ситуации соревнования и резкий его подъем в игровые дни. По-видимому, эта реактивность необходима для успешной деятельности шахматиста: уменьшение разности между уровнями гормонов до соревнования и во время игры коррелирует со снижением спортивных результатов.

Физиология человека. 1985. Т. 11. № 4. С. 645—651.

#### Психофизиология

#### Физиология

### Гормоны стресса и интеллектуальная нагрузка

Группа физиологов под руководством Г. Н. Кассиля (ВНИИ физической культуры) выявила высокую реактивность гормональных систем у шахматистов высокого класса и приуроченность гормональных реакций к психоэмоциональной нагрузке. Изучались гормоны надпочечников, играющие важнейшую роль в регуляции стресса и защите организма от повреждающих воздействий. Ситуация шахматного турнира служила хорошей моделью интеллектуальной и эмоциональной нагрузки.

В фоне (до турнира) концентрация гормонов надпочеч-

### Что такое вздрагивание?

Группа исследователей под руководством П. Экмана (Р. Ekman; Калифорнийский университет, США) изучала хорошо знакомую каждому реакцию вздрагивания, которая возникает в случае любого неожиданного достаточно интенсивного внешнего воздействия.

У группы испытуемых вызывали реакцию вздрагивания на пистолетный выстрел. В разных экспериментальных ситуациях регистрировались тончайшие мимические проявления, а также движения тела. Оказалось, в частности, что даже тогда, когда испытуемый точно знает момент выстрела (отсчет секунд 10, 9, 8... 0), его реакция

фактически не отличается от реакции на неожиданный выстрел. В другом опыте испытуемых просили подавлять вздрагивание, что не удалось никому, хотя скрытый период реакции при этом несколько увеличился. Попытки симулировать реакцию вздрагивания в отсутствие выстрела тоже были безуспешными; они приводили к появлению качественно иных микро- и макродвижений со значительно большим скрытым периодом.

Исследователи сравнили мимические проявления реакций вздрагивания и удивления, которые кажутся настолько схожими, что некоторые ученые считают вздрагивание (испуг) крайней степенью удивления. Оказалось, однако, что два эти состояния характеризуются совершенно разной мимикой, которая обеспечивается работой разных групп мышц: при удивлении брови приподняты, глаза широко распахнуты, рот открыт, губы расслаблены; при реакции вздрагивания брови сходятся у переносицы, глаза закрыты, губы растянуты в горизонтальную полоску, шея напряжена.

Итак, что же такое реакция вздрагивания — эмоция, рефлекторный акт или некое иное явление? Многие люди могут подавить проявление различных переживаний или изобразить на лице отсутствующую эмоцию. Реакция вздрагивания отличается произвольностью, не поддается подавлению и симуляции. Кроме того, для эмоций не существует такого стимула, который, подобно выстрелу, вызывал бы у всех людей без исключения совершенно одинаковую реакцию. Скрытый период реакции вздрагивания значительно меньше, чем у эмоциональных реакций.

По мнению П. Экмана и его коллег, вздрагивание не является эмоцией — это более простая по структуре и экспрессивным проявлениям реакция. Собственно эмоциональное состояние (страх, испуг, удивление) возникает позже, спустя несколько десятых долей секунды — после предварительного анализа и оценки ситуации.

Journal of Personality and Psychology. 1985. Vol. 49. N 5. P. 1416—1426 (США).

Микробиология

**Бактерии, питающиеся пестицидами**

При разработке методов детоксикации ядохимикатов рассматриваются и возможности применения биологических средств. Имеются данные о разрушении некоторых пестицидов отдельными видами грибов, бактерий, пресноводных одноклеточных водорослей<sup>1</sup>.

Дж. Карнс (J. Karns) с трудниками (Сельскохозяйственная исследовательская служба Министерства сельского хозяйства США, Белтсвилль) исследовали разложение пестицида кумафоса (в СССР он называется коралом) ферментами, выделяемыми бактериями *Flavobacterium*, и пестицида карбофурана ферментами бактерий *Achromobacter*. Кумафос, наиболее стабильный фосфорорганический инсектицид, сохраняется в почве несколько месяцев. Он высокотоксичен: 50 % подопытных мышей гибнет от дозы 55 мг/кг живого веса. В воде он не растворяется и грунтовых вод не загрязняет. Тем не менее, пребывая в почве, кумафос представляет значительную опасность для животных. Карбофуран — карбаминоый инсектицид, заменяющий ДДТ. 95 % препарата выводится из почвы за 400 дней. Это сильнодействующее ядовитое вещество в СССР запрещено к применению.

Эксперименты показали, что инкубация кумафоса с бактериями приводит к разложению пестицида до промежуточных соединений. Эти соединения нестойки и быстро распадаются на фосфаты и низкомолекулярные органические вещества. *Achromobacter* при инкубации с карбофураном используют его как основной источник азота для своей жизнедеятельности, т. е. как питательный субстрат. В ходе «поедания» пестицида бактерии расщепляют его до простейших соединений (амины, CO<sub>2</sub> и др.).

<sup>1</sup> Грибки очищают природную среду // Природа. 1986. № 6. С. 100.

Продолжаются работы по клонированию продуцентов ферментов-разрушителей, что позволит создать штаммы бактерий, более эффективные в обезвреживании ядохимикатов.

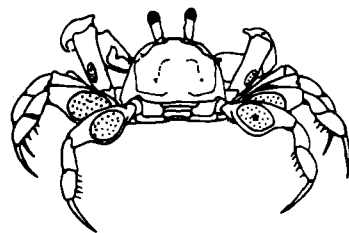
Science News. 1985. Vol. 127. № 27. P. 329 (США).

Зоология

**Крабы, которые дышат ногами**

Представление о крабе обычно связано для нас с морем, но в теплых краях крабы заселили и пресные воды, и сушу, вплоть до гор. Сохраняя крабий облик, они выработали многочисленные приспособления к обитанию в самых разнообразных условиях. Одно из них обнаружил Д. П. Мейтленд (D. P. Maitland; Университет Нового Южного Уэльса, Австралия) у крабов *Scopimera* и *Dotilla* (из семейства Ocypodidae), которые в огромных количествах населяют песчаные пляжи и обсыхающие илстые отмели тропических и субтропических побережий Индийского и Тихого океанов.

Скопимера и дотилла — маленькие крабики со вздутым, почти шаровидным телом и тонкими ножками. В отлив крабы активно собирают пищу, отделяя съедобные органические частички от песчинок и комочков ила. Во время прилива они прячутся в глубокие норы, где сохраняется пузырек воздуха. Характерная и уникальная черта их анатомии — расширенные бедренные членики ног, в середине которых имеется «окошко», затянутое тонкой мембраной. У скопимеры такие «окошки», величиной почти во весь членик, имеются даже на клешневых ножках. У дотиллы они не столь велики, зато расположены и на боковых сторонах панциря. Считалось, что эти крабы дышат жабрами, «окошки» же — органы слуха, подобные барабанным перепонкам. Но оказалось, что это — «газовые окошки», с помощью которых крабы дышат.



Краб *Scopimera inflata*. Диаметр панциря около 1 см. *Scopimera* в переводе с греч.— бедро с окошком; одно из таких «окошек» помечено звездочкой.

Исследуя эти органы у австралийской *Scopimera inflata* и сингапурской *Dotilla mustigoides*, Д. П. Мейтленд выяснил, что непосредственно под мембраной в бедренном членике располагается сложная система заполненных кровью канальцев. Как обычно у крабов, артериальная кровь проходит по сосуду, а венозная — по кровеносному синусу (щелевидному пространству) между мышцами и внутренней стороной хитинового панциря. Мышцы погружены в венозный синус, как в рукава. Но в бедренном членике венозный синус образует сеть разветвляющихся и все утончающихся (от 30 до 3 мкм) протоков и канальцев. Пройдя прямо под мембраной тончайшим слоем, кровь затем вновь попадает в канальцы, переходящие в широкие (100—200 мкм) каналы, а те опять делятся на мелкие, и так в конце концов вся венозная кровь соприкасается с «газовым окошком» и обогащается кислородом. Общая поверхность газообмена велика — до 200 мм<sup>2</sup>, больше, чем у некоторых крабов, дышащих легкими.

Дыхание скопимеры Д. П. Мейтленд изучал в респирометрической камере. Когда «окошки» аккуратно закрашивали тонким слоем нетоксичной эмалевой краски, интенсивность дыхания падала на 40—70 %, при этом нужно учесть, что в ходе эксперимента крабы активно и небезуспешно пытались содрать краску. Когда «окошки» закрашивали плотным слоем, крабы задыхались, но если краску вскорее отмывали или процарапыва-

ли, их поведение вновь становится нормальным. Таким образом, «кошкошки» действительно являются органами дыхания.

У наземных крабов основной орган дыхания — легкое, представляющее собой расширенную и обильно снабженную кровеносными сосудами верхнюю часть жаберной полости. У скопимеры и дотиллы легкого нет — жаберная полость мала и целиком занята жабрами; для дыхания на воздухе она непригодна, а в море крабы входят лишь для размножения.

Natura. 1986. Vol. 319. № 6053. P. 493—495 (Великобритания).

#### Биология

### Гнезда птиц на вулкано-генных термальных полях

В Кроноцком государственном биосферном заповеднике, расположенном в системе горных хребтов Камчатки, нами изучалась возможность гнездования птиц на местах с повышенным температурным фоном.

Исследования велись в кальдере вулкана Узон (на востоке Камчатки), где сосредоточены все разнообразные формы поверхностной гидротермальной активности, присущие зонам разгрузки перегретых вод.

На участках, где температура поверхности грунта достигает 42—45 °С, растительности либо нет вовсе, либо она столь скудна, что птицы лишены возможности укрыть гнездо. Это и ставит температурный предел размещению птиц. Самыми прогретыми оказались гнезда желтой и камчатской (белой) трясогузки (30—31,5 °) и горной трясогузки (37 °). Однако случайная посадка птиц и сбор ими корма наблюдаются и на более прогретых участках. Рекорд здесь принадлежит чирку-свистунку, опустившемуся на ручей с температурой 51 °С и высокой кислотностью (рН 4).

Температурные условия термальных полей таковы, что существенные адаптации к ним могут быть присущи лишь птицам, гнезда которых расположены непосредственно возле фумарол и горячих источников. Те, что поселяются на первых 5—6 м от края термальной площадки, гнездятся в усло-

виях хотя и повышенного температурного поля, но не столь уж аномального. Наконец, птицы, гнезда которых размещаются на еще большем удалении от границы участка с проявлением гидротермальной активности, обитают в условиях, мало отличающихся от средних для окружающей среды. Анализ размещения более 40 гнезд показал, что нет видов, которые гнездились бы только или преимущественно на термальных полях. Все представленные здесь птицы — типичные обитатели окружающих ландшафтов, но более других склонны к гнездованию на прогретых местах желтая и камчатская трясогузки. Состав птиц определяется характером растительности.

Поскольку на участках с высокой температурой грунта мест, подходящих для устройства гнезд, недостаточно, численность обитающих здесь птиц крайне мала: на крупнейшем Во-

**Островки растительности на Восточном термальном поле Узона. Здесь устраивают гнезда желтая трясогузка, морская чернеть, чирок-свистунок.**



сточном термальном поле Узона насчитывается всего от 10 до 23 пар пяти — девяти видов (в холодные сезоны их больше, чем в обычные). Таким образом, говорить о формировании на термальных полях своеобразных популяций птиц не приходится. Это не исключает, однако, возможности рассматривать в качестве своеобразных популяций все население некоторых видов птиц, обитающих в кальдере Узона (9×12 км).

**Е. Г. Лобков,**  
кандидат биологических наук

г. Елизово Камчатской обл.

Биология

## Загадка морской змеи

Желтобрюхая морская змея (*Pelamis platurus*) широко распространена в Тихом океане около берегов Южной и Центральной Америки, а также в тропических водах Индийского океана. Это — самый многочисленный вид морских змей, но изучен он слабо, так как, во-первых, морские змеи этого вида ядовиты, а во-вторых, они обитают вдали от берегов. Комплексное исследование *P. platurus* предприняли А. Рубинов (I. Rubinoff), директор Смитсоновского института тропических исследований в Панаме, Дж. Грэм (J. Graham) из Скриппсовского океанографического института (Ла-Холья, США) и Х. Мотта (J. Motta) из Горгасского госпиталя (Панама).

*P. platurus* лучше всех морских змей приспособилась к жизни в водной стихии, что отражается и в строении тела: оно сплющено с боков, а снизу до глотки и до веслообразного хвоста снабжено килеобразным выступом. Характерно, что эти животные сбиваются в многотысячные скопления там, где сливаются океанические течения, среди принесенных водными потоками деревьев, обломков, мусора и других плавучих предметов.

Наиболее интересны результаты изучения нырятельных способностей морской змеи. Авторы прикрепляли к телу живот-

ных 10-граммовый прибор, регистрирующий давление (а тем самым и глубину погружения), температуру воды и количество растворенного в ней кислорода. К удивлению специалистов оказалось, что морская змея проводит под водой 80 % времени, причем не только в приповерхностном слое, как это считалось до сих пор. Средняя глубина погружения составляла около 17 м, а «рекордсменка» ныряла более чем на 28 м.

Каждое ныряние продолжалось в среднем около 35 мин, но некоторые погружения длились более полутора часов, а одно из них — более двух часов. Это явилось неожиданностью: количество содержащегося в организме змеи кислорода недостаточно для питания органов столь долгое время. Поднявшись на поверхность, животное проводит здесь несколько минут и снова ныряет, явно не успевая пополнить запасы кислорода.

Ответ на загадку, по мнению физиолога Дж. Грэма, заключается в том, что во время погружения основную нагрузку в снабжении организма кислородом принимает кожное дыхание. Исследования показали, что, находясь на поверхности, змея получает 33 % необходимого кислорода через кожу, а на глубине — много больше.

При погружении змея быстро уходит на глубину почти под прямым углом к водному зеркалу. Достигнув точки наибольшего погружения, она начинает очень медленно всплывать, что занимает наибольшую часть времени пребывания под водой. Только вблизи поверхности этот процесс резко ускоряется и движение снова происходит почти вертикально. Резкая перемена в давлении, неизбежная при нырянии, может сопровождаться «запечатыванием» легких. Тогда кровь или вовсе не поступает в дыхательный аппарат, или, попав туда, не входит в соприкосновение с легочным газом, так как легкие под давлением сильно сжимаются. По мере постепенного подъема давление уменьшается, так что змея получает достаточное и все увеличивающееся количество кислорода. Этот запас используется весьма избирательно — в первую очередь, на питание наи-

более важных органов, что достигается переменной положением тела и характера сердечной деятельности. Этому способствует и трехкамерное устройство сердца *P. platurus*.

Механизм подобной жизнедеятельности сейчас изучается на змеях, помещенных в специальный бассейн 10-метровой глубины, сооруженный в Скриппсовском океанографическом институте. Вживляемый в сердце животного телеметрический прибор поможет сбору данных Smithsonian Institution Research Reports. 1985. № 45. P. 5 (США).



Экология

## Пастбища могут превратиться в пустыню

Черные земли в Калмыцкой АССР — обширный массив площадью свыше 2 млн га — издавна служат зимним отгонным пастбищем Западного Прикаспия и Восточного Предкавказья. Из-за антропогенного влияния экосистемы этого региона резко изменились. Динамика Черных земель за последние три десятилетия была исследована группой сотрудников из Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР, Центра подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина и Всесоюзного научно-исследовательского агролесомелиоративного института ВАСХНИЛ.

Используя аэрофото снимки этой территории, сделанные в 50—60-х годах, сравнили их с космическими фотографиями, выполненными с орбитальных станций «Салют-6» и «Салют-7» в 1976, 1978 и 1982 гг. Учитывались также данные нескольких экспедиций, работавших в разное время на территории Черных земель. Результаты исследования внушают тревогу. Если в середине 50-х годов экосистемы находились здесь в устойчивом состоянии (преобладали продуктивные пастбища и сенокосы), то к концу 60-х годов на месте пастбищ возникли очаги ветровой эрозии

почв. Нагрузка на пастбища из-за перевыпаса скота и распашка земель под кормовые травы достигли предельно допустимой нормы. К концу 70-х — началу 80-х годов разрушение естественных экосистем приобрело угрожающие размеры. Продуктивные пастбища исчезли совсем; более трети территории лишилось растительного покрова, расширилась площадь голых подвижных песков.

Оценивая современную тенденцию развития экосистем Черных земель, авторы дали экологический прогноз на десятилетие вперед: если не будут приняты немедленные и эффективные меры по охране и мелиорации территории, то к 1990 г. очаги опустынивания займут около 85 % ее площади, а к 1992 г. смогут поглотить все эти земли.

Доклады АН СССР. 1985. Т. 285. № 5. С. 1269—1272.

Геология




## 104-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

В августе 1985 г. завершился очередной рейс этого научно-исследовательского судна, продолжающего осуществлять международную программу глубинного бурения в океане. Основная задача — рейса — изучить геологическую эволюцию плато Воринг, расположенного у берегов Норвегии<sup>1</sup>; дополнительно предполагалось исследовать палеоокеанографические условия Северной Атлантики, включая динамику оледенений Северного полушария. Работами руководили О. Элдхольм (О. Eldholm; Норвегия) и И. Тиде (J. Thiede; ФРГ). Результаты исследований заставляют пересмотреть некоторые представления, основанные на интерпретации сейсмических данных этого района.

В рейсе пробурено три скважины, которые расположе-



Район работ 104-го рейса «ДЖОЙДЕС Резолюшн».

-  Положение скважин
-  Эскарп, разделяющий внутреннюю (А) и внешнюю (Б) зоны плато Воринг
-  20 — Магнитные аномалии

ны в разных структурных зонах плато Воринг: во внутренней (644), внешней (642), а также вблизи подножия (643). Ранее на плато уже велось бурение (38-й рейс «Гломара Челленджера»), однако прежние скважины были неглубокими. По геофизическим данным известно, что внутренняя зона плато имеет континентальную структуру, внешняя же скорее тяготеет к субокеанической; ее, в частности, пересекает магнитная

аномалия 24В, возраст образования которой 53 млн лет.

Скважина 644 (глубина моря 1227 м) вскрыла 252,8 м отложений от верхнего плиоцена до современных, т. е. накопившихся за последние 2,5—3 млн лет. В разрезе чередуются темные, обедненные карбонатным материалом песчаные илы ледниковых эпох и светлые карбонатные илы межледниковий. Под ледниковыми отложениями (мощность которых 228,5 м) залегает толща осадков, образовавшихся в середине плейстоцена (3—4 млн лет назад). Это переслаивающиеся илы — кремнистые и кремнисто-нанофосфорные (с ископаемыми микроорганизмами).

Скважина 642 (глубина моря 1292 м) располагается к востоку от аномалии 24В — там, где сейсмическими исследованиями обнаружена слоистая структура внешней зоны плато, погружающаяся в сторону океана. Эта наиболее глубокая из

<sup>1</sup> Подробнее о плато Воринг см.: Клитин К. А. Строеие океанической коры Норвежского моря // Природа. 1986. № 6. С. 117.



скважин (1229,4 м) вскрыла вулканические породы эоцена, перекрытые относительно глубоководными осадками от неогена до современных. Вулканические отложения (914,4 м) представлены лавовыми потоками с мало-мощными вулканокластическими прослоями и прорваны дайками толеитовых базальтов. Нижняя часть этой толщи (нижний эоцен, около 55 млн лет назад) сложена трахибазальтами и игнимбритами со следами высокотемпературных гидротермальных изменений. Верхняя часть толщи (778 м) имеет толеитовый, т. е. океанический состав; эти отложения формировались как в субаэральных, так и в морских условиях на протяжении раннего — среднего эоцена (55—45 млн лет назад). В середине эоцена вулканическая деятельность на плато завершилась. Осадочный чехол сложен кремнистыми и нанофосильными илами от среднего миоцена (15 млн лет назад) до верхнего плиоцена (около 3 млн лет назад), перекрытыми отложениями ледниковой эпохи (верхнеплиоценового — четвертичного возраста).

У подножия плато скважиной вскрыты отложения от нижнего эоцена до современных. Базальные конгломераты содержат гальку толеитовых базальтов. Терригенные аргиллиты сменяются вверх по разрезу кремнистыми илами и отложениями ледникового периода (верхние 50 м).

Таким образом, колонки осадочных пород отличаются, по сравнению с полученными в 38-м рейсе, значительно большей полнотой; лабораторное их изучение позволит судить о динамике оледенений в Северном полушарии.

На основе результатов бурения исследователи предполагают, что развитие континентальной окраины в районе плато Воринг началось крупным расколом континентальной коры, сопровождавшимся излиянием кислых и основных лав. В дальнейшем начался спрединг дна моря с характерным для него толеитовым вулканизмом.

## Геология

### Осадки в дельте Хуанхэ

Река Хуанхэ — вторая в мире (после Ганга) по количеству переносимых ею осадков. Оно составляет примерно 1,1 млрд т в год, что в пять раз превышает массу осадков, которую переносит столь крупная река, как Миссисипи. Среднегодовая насыщенность вод Хуанхэ взвешенными частицами — около 25 г/л (в 100 раз больше, чем у Амазонки), максимальная же достигает 200 г/л, что является уникальным в сравнении со всеми реками мира. Благодаря этому дельта и эстуарий р. Хуанхэ представляют собой идеальную природную лабораторию для изучения динамики формирования осадков (до сих пор процессы осадконакопления исследовались главным образом в лабораторных условиях).

В соответствии с трехлетним соглашением, заключенным между Шаньдунским океанографическим колледжем (Циндао, КНР) и Университетом штата Орегон (Корваллис, США), в дельте и эстуарии Хуанхэ начиная с 1985 г. ведутся седиментологические исследования. В них используются два китайских научно-исследовательских судна, одно из которых снабжено сонаром бокового обзора. На первом этапе работ измерялись направление и интенсивность течений, температура и соленость вод, насыщенность их взвешенными частицами, оптическая прозрачность, велся отбор донных проб, акустическое профилирование и зондирование.

Установлено, что богатые илом наносы Хуанхэ отлагаются в непосредственной близости от эстуария реки и лишь незначительная их часть переносится с речным стоком в залив Бохайвань. В 10 км от берега (глубина более 10 м) дно выровнено. Вынос мельчайших осадочных частиц за пределы самого эстуария происходит, очевидно, только в периоды сильных зимних штормов. Обнаружен подводный каньон глубиной 5—8 м и шириной 1 км, протягиваю-

щийся в сторону моря на расстоянии около 10 км. По-видимому, он и служит главной проводящей артерией для насыщенных осадками речных потоков. Акустическими измерениями выявлено существование крутых внутренних волн, перемежающихся через фронт дельты. Это указывает на периодически происходящее вертикальное перемещение зон концентрации взвешенных частиц.

На следующем этапе изучения этого ключевого для многих седиментологических проблем района (1986—1987 гг.) планируется провести наблюдения в период максимального стока Хуанхэ (июль—август) и во время зимних штормов, когда пересаживание осадочных пород под воздействием волн должно существенно влиять на процессы их отложения в дельте реки. Eos (Transactions of the American Geophysical Union). 1985. Vol. 66. No 40. P. 683 (США).

## Океанология

### Гидротермы в зоне сверхскоростного спрединга

После того как в северной части Восточно-Тихоокеанского поднятия были открыты многочисленные проявления гидротермальной деятельности с сопутствующими ей отложениями массивных сульфидных руд, особый интерес ученых стала вызывать его южная часть. По их предположению, здесь следовало ожидать более интенсивной гидротермальной активности, поскольку это район сверхскоростного спрединга (16 см/год). Начиная с 1980 г. в этой части поднятия регулярно ведутся исследования, позволившие установить наличие четырех участков с признаками гидротерм. Участки расположены на глубине от 2850 до 2590 м в осевой части хребта между 21°30' и 17°30' ю. ш. и отличаются двумя характерными формами рельефа дна. Работы, проведенные в 1984 г. на подводном аппарате «Сиана» (Вудсхоллский институт, США), показали, что эти формы рельефа соответствуют двум стадиям эволюции подводного хребта —

вулканической и рифтовой (тектонической); гидротермальная деятельность проявляется в этих стадиях по-разному.

Обычно осевые части подводных спрединговых хребтов имеют рифтовые впадины, которые образуются при раздвижении земной коры. Такие впадины (глубиной 50—85 м при ширине 1 км) хорошо выявляются на участках в районе  $21^{\circ}30'$  и  $18^{\circ}30'$  ю. ш. Необычная картина отмечена на  $20^{\circ}$  и  $17^{\circ}30'$  ю. ш., где ось рифта не только не выражена, но даже приподнята. Как теперь установлено, приподнятый участок хребта на  $17^{\circ}30'$  находится в стадии современной вулканической активности. Здесь нет ни расщелин, ни разломов, за исключением нескольких тонких трещин, протягивающихся параллельно хребту. Отмечен ряд застывших вулканических потоков, не покрытых осадками. Сходная картина, но с меньшей степенью проявления вулканизма наблюдается и на  $20^{\circ}$  ю. ш. О гидротермальной активности на этих участках говорит повышенная температура воды (до  $+0,3^{\circ}\text{C}$ ). В первом случае теплый раствор выходит из впадины глубиной 10 м и диаметром 5 м, приуроченной к топографической вершине хребта, во втором — изливается в форме «языков пламени» и быстро темнеет в нескольких сантиметрах от выхода. В целом это области слабых диффузных гидротермальных излияний без существенных сульфидных отложений.

Резко отличается обстановка на  $21^{\circ}30'$  и  $18^{\circ}30'$  ю. ш., где в осевой части хребта происходит образование рифта в отсутствие вулканической деятельности. Здесь хорошо выражен осевой грабен с трещинами и разломами, гидротермальная активность существенно выше. На  $21^{\circ}30'$  ю. ш. в основании грабена отмечены излияния типа «черных курильщиков». Их сульфидные надстройки (до 15 м в диаметре и до 10 м в высоту) сложены сульфидами железа и цинка. Сходные по составу отложения и на  $18^{\circ}30'$ , хотя активных выходов гидротермального раствора не наблюдалось.

Итак, в зоне сверхскоростного спрединга выявлены две стадии эволюции подводного

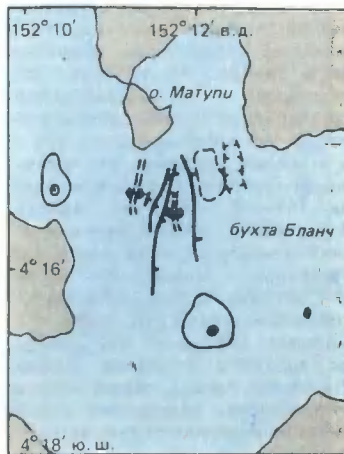
хребта. Гидротермальная активность в вулканической стадии приурочена к вершине хребта, а в тектонической — к основанию покрытого осыпями или осадками осевого грабена. В первом случае отмечен только один выход типа «черного курильщика», во втором — многочисленные излияния этого типа с крупными сульфидными надстройками. Исследователи заключают, что эти наблюдения на океаническом дне показали прерывистую природу вулканической, тектонической и гидротермальной активности даже при самой высокой скорости спрединга на Земле.

Earth and Planetary Science Letters. 1985. Vol. 75. № 4. P. 339—353 (США).

#### Вулканология

### Рождение подводного вулкана

Летом 1984 г. район порта Рабаул на о. Новая Британия (Папуа—Новая Гвинея) был охвачен высокой сейсмической активностью: подземные толчки магнитудой до 5,5 по шкале Рихтера происходили здесь с частотой около 1400 в месяц. Когда активность снизилась, научно-исследовательское судно «С. П. Ли», принадлежащее Геологической службе США, провело в этом интересном для наук о Земле районе экваториальной части Тихого океана геологические, геофизические, сейсмологические и батиметрические наблюдения и измерения. Сопоставление полученных данных с материалами прежних исследований, в том числе с данными, собранными здесь тем же судном в 1982 г., показало, что на протяжении 10 лет, главным образом за последние 2 года, на дне бухты Бланч крупный участок земной коры поднялся примерно на 1 м. Этот участок, расположенный в 3 км к югу от порта Рабаул, окаймлен активными разломами земной коры. (Лежащий несколько севернее о. Матупи также испытывает возмущение приблизительно с такой же скоростью.)



Район у побережья о. Новая Британия, где рождается подводный вулкан.

- Углубление
- Разлом
- Впадина
- Купол
- Вулканический конус

Специалисты, возглавляемые морским геофизиком Г. Грином (G. Green; Геологическая служба США), пришли к выводу, что из находящейся под ложем океана магматической камеры «выталкивается» вверх ее содержимое. Хотя вершина новообразующегося вулкана еще не вышла на поверхность моря, возможность бурного его извержения считается вполне реальной. Извержение не только может перекрыть

вход в гавань порта Рабаул, но и угрожает жизни 17 тыс. его жителей.

С середины июня 1985 г. приступило к батиметрическим измерениям и изучению строения дна Новогвинейского моря прибывшее сюда научно-исследовательское судно «Сервейер» (Национальное управление США по изучению океана и атмосферы). В августе 1985 г. в этот же район с целью вулканологических, сейсмологических и других наблюдений пришло научно-исследовательское судно «Моана-Уэйв», принадлежащее Гавайскому геофизическому институту (Гонолулу, США). Происходящие здесь события предоставляют уникальную возможность непосредственно наблюдать, как образуется подводный вулкан.

New Scientist. 1985. Vol. 106. №1460. P. 9 (Великобритания).



Часть ствола лиственницы, отмершей около 10 тыс. лет назад. Найдена среди мелкопочкарных ерниковых тундр на второй надпойменной террасе р. Большой Лесной Рассохи (юго-восток Таймыра).

### Палеогеография

## Лиственничные леса в раннем голоцене Арктики

Участники Полярной комплексной экспедиции Ботанического института им. В. Л. Комарова АН СССР (Ленинград), работавшие во главе с автором на п-ве Таймыр в связи с находкой здесь в 1978 г. остатков мамонта, обнаружили первые прямые свидетельства раннеголоценового потепления климата в высоких широтах Арктики.

В течение голоцена (последние 12—10 тыс. лет), несмотря на его геологическую непродолжительность, происходили заметные изменения климата. По многочисленным палеоботаническим данным, первое в послеледниковое время потепление фиксируется 8,5 тыс. лет назад. Два других приходятся на средний голоцен: атлантическое время (5 тыс. лет назад) и суббореальное (3,5 тыс. лет назад). Потепление атлантического времени было максимальным: северная граница лесов проходила тогда вблизи побережий северных морей. Однако результаты изучения пыльцы

и спор растений из торфяников и озерных отложений, сформировавшихся в некоторых районах Северо-Востока Сибири, Аляски и Канады, указали, что «первая волна» потепления проходила уже в раннем голоцене — около 10 тыс. лет назад (по расчетам М. Миланковича, сделанным для этого периода, приток солнечной радиации в высоких широтах Северного полушария мог быть на 9—10 % выше современного). Но поскольку до последнего времени остатков деревьев, захороненных в прижизненном состоянии и пригодных для датирования радиоуглеродным методом (по  $^{14}\text{C}$ ), найдено не было, считалось, что нет и «прямых свидетелей», подтверждающих потепление климата в раннем голоцене.

Место нахождения остатков трупа мамонта —  $72^{\circ}35'$  с. ш.,  $101^{\circ}$  в. д. При маршрутных обследованиях окрестностей находки — ныне безлесных — мы обнаружили на второй надпойменной террасе р. Большой Лесной Рассохи (бассейн р. Новой) семь пней лиственниц, захороненных в прижизненном со-

стоянии. Группа из шести пней найдена среди мелкопочкарных пушицево-осоковых ерниковых тундр, а пень-одиночка — почти в 2 км от них, на валиково-полигональном болоте. Глубину залегания корневой системы установить не удалось: после снятия более чем 50 см мерзлого грунта вокруг двух из семи пней она так и не была достигнута. Срок работ экспедиции истек, и раскопки пришлось прекратить. Один из двух пней был спилен (его высота вместе с откопанной частью составляет 1 м при диаметре 18 см) и взят для дендрохронологического и радиоуглеродного анализов.

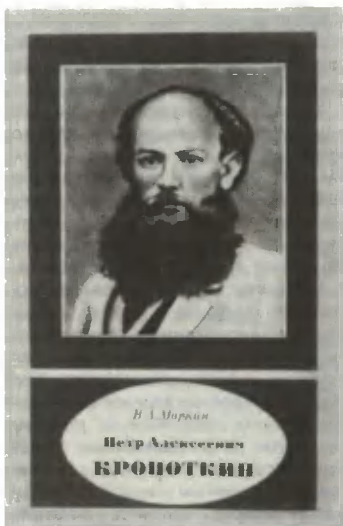
Дата, полученная по этому пню в Институте мерзлотоведения СО АН СССР, —  $10\,500 \pm 500$  лет — указывает, что одна из лиственниц этого небольшого лесного палеомассива отмерла в переходное время от позднего плейстоцена к голоцену или в самом начале раннего голоцена. Таким образом, обнаруженные в низовье р. Большой Лесной Рассохи остатки деревьев можно считать первыми прямыми свидетельствами того, что еще в раннем голоцене лиственничные леса продвигались севернее современной границы леса не только на Таймыре, но и в высоких широтах Арктики вообще.

**В. В. Украинцева,**  
кандидат биологических наук  
Ленинград

## Научное творчество и личность

Р. К. Баландин

Москва



В. А. Маркин. ПЕТР АЛЕКСЕЕВИЧ КРОПОТКИН. 1842—1921 / Отв. ред. В. Е. Шанцер. М.: Наука. Науч.-биогр. сер. 1985. 208 с.

Проблемы взаимосвязи науки и нравственности, свободы познания и этических ограничений или, говоря обобщенно, познания и личности особенно обострились за последние десятилетия. Это понятно. Современная наука дала в руки человека не только могучую технику для «покорения природы», эксплуатации естественных ресурсов, но и чудовищные средства уничтожения целых государств, всего человечества, всех высших форм жизни на планете.

В поисках ответов на вопросы, связанные с моральной ответственностью ученого перед обществом, сказано и написано немало. Однако когда речь идет о поведении, нравственных

идеалах, цена умозрительных рассуждений невелика. Более того, она порой превращается в «отрицательную величину», если слова противоречат поступкам, не подтверждаются соответствующим образом жизни. В этом отношении личность Петра Алексеевича Кропоткина и опыт его жизни безупречны.

Правда, автор новой книги о нем — В. А. Маркин — сознательно ограничивает поле исследований: «Наша задача — рассказать о Кропоткине-естествоиспытателе... Среди фактов биографии мы отбираем поэтому прежде всего те, которые характеризуют его как ученого...» (с. 13). Такое ограничение продиктовано прежде всего необычайной многогранностью научного творчества и общественной деятельности Петра Алексеевича.

С поставленной задачей автор справился. И если до сих пор мы имели блестящие работы Д. Н. Анучина, Л. С. Берга, С. С. Анисимова, посвященные главным образом Кропоткину — географу и путешественнику<sup>1</sup>, то теперь появилась монография, в которой он показан как естествоиспытатель, внесший заметный вклад в целый ряд наук о Земле, а также в общую биологию и экологию.

Большое внимание, и это вполне оправданно, уделено в книге выдающимся по смелости и научным результатам исследованиям и путешествиям Кропоткина в Сибири и на Дальнем Востоке. Именно здесь, в таежных просторах, в трудностях и опасности, в прямом общении с природой сформировалась и ярко проявилась личность великого естествоиспытателя и замечательного человека. Он первым совершил пере-

ход от Якутска до Читы, пересек Патомское нагорье, открыл след оледенения в Сибири... Не станем перечислять его достижений. Обратим внимание на его слова: «Годы, проведенные в Сибири, научили меня многому, чему я вряд ли мог бы научиться в другом месте». Это естественное признание человека, которому суждено было на основе сибирских наблюдений и рассуждений ввести в науку оригинальные геоморфологические идеи, дать первые обоснования теории ледникового периода, прославившей его имя в истории науки. Но далее он говорит: «Я быстро понял, что для народа решительно невозможно сделать ничего полезного при помощи административной машины» (с. 54).

Оставаясь глубоко увлеченным и необычайно талантливым исследователем-натуралистом, Кропоткин, тем не менее, всегда готов был пожертвовать своими научными занятиями ради того, что считал для себя еще более важным: ради борьбы за социальную справедливость и человеческое достоинство. И доказывал это неоднократно.

Нельзя объять необъятное, а потому эта тема пригнущена автором книги, но, кажется, несколько более, чем того требует жанр научной биографии. Например, эпиграфом к главе «Вне России», где рассказывается о научных работах Кропоткина за рубежом, взяты его слова: «Наука — важное дело. Я знал радости, доставляемые ею, и ценил их...» (с. 124). Все так. Но жаль оборванной и не донесенной до читателя идеи, столь характерной для Кропоткина: «... и ценил их, быть может, даже больше, чем многие мои собратья... Но какое право имел я на все эти высшие радости, когда вокруг меня гнетущая нищета и мучительная борьба за черствый кусок хлеба?». И наконец, завершение его мысли: «Все эти звонкие слова насчет прогресса, производимые в то время, как сами

<sup>1</sup> Анучин Д. Н. // Русские ведомости. 1917. 25 ноября; Берг Л. С. Петр Алексеевич Кропоткин, 1842—1921 // Русские географы и путешественники. Вып. 1. М., 1948; Анисимов С. С. Путешествия П. А. Кропоткина. М., 1952.

делатели прогресса держатся в стороне от народа, все эти громкие фразы — одни софизмы. Их придумали, чтобы отделаться от развещающего противоречия»<sup>2</sup>.

Итак, Кропоткина с молодых лет наиболее глубоко и сильно волнуют проблемы социальные; он выступает прежде всего как революционер (не случайно же книгу о своей жизни он так и назвал: «Записки революционера»). Но вместе с тем добивается выдающихся результатов в науках о Земле и жизни! И тут нет «двойственности» личности, обе линии жизни Кропоткина переплетены, и их трудно рассматривать порознь.

Это особенно ясно видно при анализе биологических работ Кропоткина. Как верно отметил В. А. Маркин, приобретенные во второй половине прошлого века большую популярность идеи социал-дарвинистов о господстве в природе и обществе жесткой и яростной борьбы за жизнь и жизненные блага были несоместимы с гуманистическим мировоззрением Кропоткина. И тогда русский мыслитель поставил перед собой такую задачу: «Необходимо было показать сперва преобладающую роль, которую играют общительные привычки в жизни природы и в прогрессивной эволюции как животных видов, так равно и человеческих существ. Недо было доказать, что они дают животным лучшую охрану против их врагов, что они облегчают им добывание пищи... и увеличивают предел жизнеспособности и, вследствие этого, — облегчают развитие умственных способностей; что они дали людям... возможность выработать те учреждения, которые помогли человечеству выжить в суровой борьбе с природой и совершенствоваться, не смотря на все превратности истории»<sup>3</sup>.

Как видим, задача поставлена с позиций преднамеренных, четко ориентированных в

соответствии с моральными идеалами автора. И в то же время она продолжает традицию русских ученых рассматривать биологическую эволюцию в связи с взаимодействием и взаимопомощью животных (В. А. Маркин неточно пишет об «одном голосе» К. Ф. Кесслера). Истоки таких взглядов можно найти в эволюционной «зооэтике» К. Ф. Рулье. Ан. Н. Бекетов также доказывал, что борьба за существование — лишь частный случай «взаимодействия сил», гармонии в природе.

Интересно, что уже в наше время к идеям, высказанным в книге Кропоткина «Взаимопомощь как фактор эволюции», вернулись советские генетики Б. Л. Астауров и В. П. Эфроимсон<sup>4</sup>. Экологическое единство живого вещества изучается с различных позиций. И по-прежнему актуально звучат слова Кропоткина: «Общество... зиждется на сознании — хотя бы инстинктивным — человеческой солидарности, взаимной зависимости людей. Оно зиждется на бессознательном и полусознательном признании силы, взаимствуемой каждым человеком из общей практики взаимопомощи; из тесной зависимости счастья каждой личности от счастья всех»<sup>5</sup>.

Биологические исследования Кропоткина смыкались с историческими. Приступив к анализу Великой французской революции, Кропоткин исходил из следующей идеи: в человеческом обществе идет борьба двух течений — народного и начальнического; в народе вырабатываются формы единения, взаимопомощи, которым противостоят формы угнетения, разобщения, господства и привилегий за счет масс. И вновь его установка оказалась исключительно плодотворной. По свидетельству В. Д. Бонч-Бруевича, книгу высоко оценил В. И. Ленин: «Кропоткин впервые посмотрел на французскую революцию глазами исследователя,

обратившего внимание на народные массы»<sup>6</sup>.

Жизнь князя Петра Алексеевича Кропоткина дает исключительный образец единства общественных убеждений и научного творчества, нравственных идеалов личности и ее научных достижений. Подобное нерасторжимое единство характерно для очень немногих мыслителей. Поэтому в подавляющем большинстве книг, раскрывающих биографии ученых, вполне оправдан раздельный анализ научного творчества, социально-политических взглядов, общественной деятельности и личных качеств данного человека. Однако когда речь идет о Кропоткине, такой подход ведет к большому потерям. Живой образ человека превращается в привычную маску «научного работника». Например, автор утверждает, будто Кропоткин в Пажеском корпусе увлекся естествознанием. А чуть позже приводит слова Кропоткина, сказанные в этот период: «С естественными науками я очень мало знаком» (с. 22). И верно, он любил историю, мечтал посвятить себя литературе и выказал незаурядные способности в математике. Кстати, знание математики помогло ему овладеть искусством четкого логического мышления.

Что и говорить, перед биографами Кропоткина стоит задача чрезвычайно трудная. «Эта книга — лишь первая попытка создания биографии П. А. Кропоткина-ученого», — пишет В. А. Маркин (с. 13). Приходится уточнить: в 1972 г. уже была опубликована научная биография Кропоткина, на которую В. А. Маркин ссылается. Вольно или неволью В. А. Маркин учел ее в своей работе и лишь вскользь осветил те эпизоды жизни и научные труды Кропоткина (скажем, по истории, этике), о которых писала его предшественница Н. М. Пирумова<sup>7</sup>. Для специального научного исследования это допустимо. Но ведь эта книга рассчитана

<sup>4</sup> Эфроимсон В. П. // Вопр. философии. 1970. № 8. С. 126; Астауров Б. Л., Эфроимсон В. П. // Новый мир. 1971. № 10. С. 220.

<sup>5</sup> Кропоткин П. А. Взаимная помощь... С. 7.

<sup>6</sup> Бонч-Бруевич В. Д. Воспоминания о Ленине. М., 1969. С. 442.

<sup>7</sup> Пирумова Н. М. Петр Алексеевич Кропоткин. М., 1972.

<sup>2</sup> Кропоткин П. А. Записки революционера. М.; Л., 1933. С. 149.

<sup>3</sup> Кропоткин П. А. Взаимная помощь как фактор эволюции. СПб, 1907. С. 9—10.



на широкий круг читателей, многие из которых вряд ли знакомы с предшествующими работами на ту же тему.

Чем больше мы узнаем Петра Алексеевича Кропоткина, тем больше актуального и поучительного находим в феномене его личности. Он предстает перед нами не только как создатель ледниковой теории, выдающийся путешественник, геоморфолог и т. д. Он — один из крупнейших мыслителей-естествоиспытателей, многие идеи которого, а главное — опыт жизни и познания природы сохраняют свою значимость. Новая книга о Кропоткине, как всякое серьезное исследование, стимулирует дальнейшие поиски и открытия.

## Природа Казахстана в фототрафиях

Б. М. Губин,  
кандидат биологических наук  
Алма-Ата

ЖЕМЧУЖИНЫ КАЗАХСТАНА / Сост. А. Т. Макашев. Алма-Ата: Кайнар. 1983. 384 с.  
АЛАТАУ / Сост. Х. А. Тлемисов, А. Т. Макашев, Б. Р. Жаларов. Алма-Ата: Кайнар. 1985. 224 с.

Старейшее в Казахстане издательство «Кайнар» выпустило за последние годы три фотоальбома, посвященные природе республики: «Жемчужины Казахстана», «Знакомьтесь — птицы» и «Алатау». Из них первый и третий требуют особого разговора.

Фотоальбом «Жемчужины Казахстана» содержит около 300 цветных снимков, которые выполнены известными фотографами. Иллюстрации разбиты по темам и сопровождаются 10 самостоятельными текстами, взятыми составителем из книг, уже опубликованных ранее этим издательством. Цель издания — дать читателю яркое представление о красивейших, уникальных уголках республики, их богатом растительном и животном мире. Альбом вышел тиражом 30 тыс. экз. и сразу же стал библиографической редкостью.

Тем обиднее, что он пестрит неточностями и просто грубыми ошибками, особенно часто встречающимися в подписях под фотографиями.

Так, растения из коллекции Главного ботанического сада АН КазССР «расселены» волей составителя альбома по всему Казахстану. Виды, характерные для высокогорий, попали на равнину и, наоборот, растущие на равнине оказались высоко в горах. Крачки и тиркушки названы чайками (с. 67, 186, 328), подковонос — складчатогубом (с. 84), суслик — сурком (с. 324), гриф — орлом (с. 325), тетерев — глухарем (с. 320), гнездо с ярко-голубыми яйцами чечевицы представлено как гнездо чирка (с. 334).

Много путаницы и с географией. Известный всем пик Хан-Тенгри (с. 12—13) попал в раздел, посвященный Заилийскому Алатау, как, впрочем, сюда же отнесены древовидные арчевники Таласского Алатау (с. 14), Устюрт выдан за каньон Чарына (с. 15).

Животные также «переселены» в нехарактерные для них места: грифы оказались в степи (с. 175—176), фазаны — в заповеднике Аксу-Джабаглы (Таласский Алатау, с. 303) и т. д.

Некоторые подписи под фотоснимками довольно безграмотны, как, например: «обитает здесь редкий зверек — перевязка и более обычные — пеганки» (с. 330) или «весной расцветают склоны холмов от обилия маков» (с. 50); другие малоинформативны; иногда же и вовсе под фотографией повторяется кусок текста, уже напечатанный на той же странице (с. 222, 253 и т. д.).

Некоторые животные пользуются, по-видимому, особым расположением составителя. Это хорошо видно на примере пустылки, представленной в альбоме четыре раза и в трех случаях вызывающей у читателя явное сострадание: кажется, что затасканная, полуживая птица готова в камнях «затаяться» навсегда. Но этого мало: на с. 362 напечатан фотопортрет ястреба-перепелятника, которого составитель опять-таки выдает за пришедшуюся ему по душе пустылку.

Непонятно, зачем в аль-

боме приводятся снимки верблюдов, коней, домашних гусей (выдаваемых за диких), а на фоне изгороди из жердей сохранившихся в звероводческих совхозах благородных оленей.

Текстовая часть хотя и составлена, как уже здесь говорилось, из опубликованного, вызывает ряд замечаний. Сами по себе очерки неравноценны, и система их компоновки не совсем ясна. Имело бы, наверное, смысл сгруппировать их в два раздела: места с заповедным режимом (заповедники Аксу-Джабаглы, Алма-Атинский, Берсакельмес, Кургальджинский, Наурзумский, Маркакольский) и национальные памятники (Боровое, Баянаул, Прииртышье, Каркаралы). В предисловии «Слово о природе Казахстана» на с. 9 имеется неточная фраза: «В разных природных зонах республики насчитывается почти пять тысяч видов животных и птиц». Во-первых, птицы — тоже животные, а во-вторых, непонятно, что под понятием «животное» автор имеет в виду. Если сюда он, как и положено, относит и беспозвоночных, то приведенная цифра слишком мала, если только позвоночных, то слишком велика.

В очерке «Заилийский Алатау» встречаются надуманные утверждения, например: «никто не видел, чтобы орлан ошибся в расчетах. Раз он бросился в воду — значит поднимается с рыбой в когтях» (с. 30); «стрела-змея внезапным броском может подпрыгнуть до 40 см в высоту» и т. д.

Не будем останавливаться на более детальном разборе, так как нам предстоит оценить в общих чертах еще один фотоальбом — «Алатау», вышедший в свет тиражом 20 тыс. экз. Целью этого красочного издания, как явствует из предисловия и заключения, является показ природы и многообразия животного и растительного мира одного из живописнейших уголков Казахстана — Заилийского Алатау, северного хребта Тянь-Шаньских гор. Около 220 цветных слайдов, в большинстве своем великолепных по сюжету, композиции и исполнению, разбиты по сезонам года и ... не несут никакой информации. Издатели решили, по-видимому, во избежание ошибок вообще



не сообщать читателю, что изображено на фотографиях, и поместили их без каких бы то ни было подписей или соответствующего текстового сопровождения.

Фамилии подлинных авторов фотоальбома — фотографов-анималистов расположены в начале книги в алфавитном порядке, но без указания номеров их слайдов, как это делается в хороших изданиях. Фамилии некоторых (например, В. А. Морозова — автора слайда с изображением седоголового щегла на чертополохе) опущены совсем. Зато свои фамилии составители расположили в строгом административном порядке, согласно таблицы о рангах: первым идет директор издательства «Кайнар» Х. А. Тлемисов, затем бывший тогда заведующим редакцией А. Т. Макашев и последним — главный художник издательства Б. Р. Жапаров. Нумерация страниц в альбоме, неожиданно прервавшись на с. 7, затем появляется вновь на с. 215. Поскольку фотографии тоже не пронумерованы, придется приводить замечания по снимкам без ссылок на их местоположение.

Название фотоальбома — «Алатау» — не соответствует его содержанию. Составители, видимо, забыли, что помимо Заилийского Алатау, который и имеется ими в виду, существует еще несколько хребтов, в название которых входит слово «Алатау», например: Кунгей-Алатау и Таласский Алатау (расположенные большей частью в Киргизской ССР), Кузнецкий Алатау (РСФСР), Джунгарский Ала-

тау, находящийся главным образом в том же Казахстане. Видимо, снова забывчивость (или незнание географии?) привела к тому, что ни одно из встречающихся в альбоме озер не имеет отношения к Заилийскому Алатау, а некоторые представители животного и растительного мира вообще не свойственны Тянь-Шаню в целом.

Нелепо выглядят в альбоме бурый медведь и белка-летяга с Алтая, березовые колки и грибы равнинной части Северного Казахстана, североамериканская норка и др. Многочисленные отары овец и табуны лошадей, представленные в фотоальбоме неоднократно, показались, очевидно, составителям тем многообразием и уникальностью животного мира, о котором говорится в заключении и аннотации к изданию. Если учесть, что некоторые животные, как, например, чучело, далеко не тяньшаньского подвиды бурого медведя, барс, козуля и сибирский козерог, изображены неоднократно, то истинное количество представителей столь богатого животного мира Казахстана едва ли превышает здесь три десятка. Зато виды склонов с тяньшаньской елью, снятые зимой, летом, весной, осенью, сбоку, снизу, сверху, при помощи летательных аппаратов или в пеших походах, заполнили едва ли не половину печатного объема.

Хоть и невелика текстовая часть рецензируемого издания, однако и она не идеальна. Так, в предисловии говорится об арче и можжевельнике как о

разных растениях (с. 6). На самом деле это названия-синонимы. Вопреки тому, что сказано в заключении, в Заилийском Алатау преобладает не 120 видов птиц (с. 122), а по крайней мере раза в два больше. Глубоко ошибочно мнение, будто выше 3200 м над ур. м. нет жизни (с. 219). Напротив, именно в этом поясе до 4000 м и выше живут, выводя потомство, жемчужные выюрки, альпийские галки, стенолазы, краснобрюхие горихвостки и др. Здесь летом на дnevке зачастую можно видеть стада сибирских козерогов, отдыхающих в цирках и кулуарах.

В чем же причина такого обилия орехов? Она мне видится главным образом о том, что составители оказались людьми малокомпетентными, к тому же самонадеянными: фотоальбомы вышли не только без участия, но и без рецензий специалистов — биологов и географов. А ведь большей части допущенных ошибок можно было бы избежать без особых затрат средств и времени, поскольку в Алма-Ате нет недостатка в специалистах самой высокой квалификации. Безответственно подошли к этому и работники Госкомиздата Казахской ССР, присвоив (отпечатанному в Финляндии) фотоальбому «Жемчужины Казахстана» в конкурсе «Искусство книги» за 1983 г. диплом I степени.

Воодушевленное успехом, издательство «Кайнар» готовит к выпуску очередной фотоальбом. Каким он будет?

## НОВЫЕ КНИГИ

### Физика

А. Т. Филиппов. **МНОГОЛИКИЙ СОЛИТОН**. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. Библиотечка «Квант». Вып. 48. 1986. 224 с. Ц. 40 к.

Одно из наиболее удивительных и красивых волновых явлений — образование уединенных волн, или, как мы их сейчас называем, солитонов.

Впервые на уединенную волну обратил внимание английский инженер Дж. С. Рассел. Он увидел ее на канале, соединяющем Эдинбург с Глазго. Надо отдать должное не только наблюдательности, но и любознательности Рассела: столкнувшись со столь необычным явлением, он стал изучать его, придумав для этого различные способы

создания уединенных волн. В результате им были установлены основные свойства солитонов. Это было около 150 лет назад.

Нельзя сказать, что новое явление осталось вовсе без внимания, но оно оказалось где-то «на чердаках науки». В конце прошлого века было выведено знаменитое сейчас уравнение Картевега—де Фриза, опи-

сывающее уединенные волны на мелкой воде, позже было получено строгое математическое доказательство существования таких объектов, проделаны тщательные опыты по их изучению, в которых использовалась кино-съемка. Но самое удивительное свойство волн было обнаружено всего 20 лет назад, когда с помощью моделирования на ЭВМ выяснилось, что уединенная волна подобна частицам. Именно после этого из названия было убрано слово «волна», а из английского прилагательного "solitary" (уединенный) составили термин солитон, созвучный электрону, протону и другим названиям элементарных частиц.

Выяснилось, что у солитонов на воде множество «близких родственников». Явление, открытое Расселом, оказалось универсальным. Сейчас изучают солитоны в кристаллах, магнитных материалах, сверхпроводниках, живых организмах, в атмосфере Земли и других планет, в галактиках. Даже элементарные частицы можно рассматривать как солитоны.

Именно поэтому книга А. Т. Филиппова названа «Многоликий солитон». Это одна из первых попыток доступно, без применения сложного математического аппарата рассказать об уединенных волнах. Читатель узнает об истории открытия самого явления и получит представление о различных типах солитонов и современных методах их исследования.

#### Биология

Дж. Когла. **БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ РАДИАЦИИ** / Пер. с англ. Предисл. А. Н. Деденкова. М.: Энергоатомиздат, 1986. 184 с. Ц. 2 р. 50 к.

В течение жизни все мы подвергаемся действию ионизирующего излучения, источником которого являются как естественные, так и искусственные радиоактивные изотопы, а также промышленные, медицинские и бытовые аппараты. Радиоактивные изотопы применяются во многих областях физики, химии и биологии. В промышленности ионизирующее излучение используется для обнаружения микроскопических трещин и

полостей в металлических конструкциях; в сельском хозяйстве — для выведения новых сортов растений; в пищевой промышленности — для стерилизации продуктов; радиационная стерилизация самцов включена в современные методы выбраковки животных; радиоизотопы широко применяются в медицине для диагностики и лечения ряда заболеваний; источником ионизирующего излучения в микродозах являются телевизоры, особенно цветные, люминесцентные часы, инфракрасные печи и т. д. Как ионизирующее излучение взаимодействует с живой материей? Каковы биологические эффекты этого излучения?

Книга Дж. Когла — достаточно популярное изложение многих современных проблем радиобиологии. В ней рассматриваются типы ионизирующих излучений, их действие на биологические объекты разных уровней организации живой материи (физико-химического, молекулярного, клеточного, тканевого, организменного, даже популяционного). Большое внимание уделяется проблемам радиационного канцерогенеза и радиационной безопасности. Приведены все факторы риска, все уровни доз облучения, которому подвергаются в течение жизни люди, профессионально связанные с излучением, при разных медицинских обследованиях, в процессе жизнедеятельности. Особое значение придается вопросам отдаленных последствий облучения. Детально обсуждается возможность использования атомной энергии в мирных целях, перспективы ядерной энергетики.

#### История науки

А. В. Козенко. **ДЖЕЙМС ХОПВУД ДЖИНС. 1877—1946** / Отв. ред. В. Н. Жарков. М.: Наука, Науч.-биогр. сер., 1985. 145 с. Ц. 50 к.

В истории науки Дж. Х. Джинс рассматривается как один из создателей теоретической астрофизики. Он был в числе первых физиков-теоретиков, начавших работать в астрономии, и первым применил аппарат теоретической физики

как метод научного исследования небесных объектов. А в начале своей деятельности Джинс занимался кинетической теорией газов и теорией излучения; именно тогда им была получена формула для распределения энергии в спектре равновесного излучения, известная как формула Рэлея — Джинса. Кроме того, Джинс — создатель теории гравитационной неустойчивости, лежащей в основе современных исследований в области космогонии и космологии.

Широкой известностью пользовался Джинс с 20-х годов не только среди физиков и астрономов, но и среди непрофессионалов, интересующихся вопросами естествознания. Джинс был талантливым популяризатором науки. Широта его научных интересов и оригинальная философская интерпретация достижений науки в сочетании с художественным стилем изложения делали популярные работы Джинса классическими образцами произведений этого жанра.

К сожалению, о творчестве Джинса и о нем самом написано очень мало, на русском языке эта книга о Джинсе — первая. В первой части кратко изложена биография Джинса, рассказывается о его становлении как ученого, организатора и популяризатора науки. Во второй анализируется вклад Джинса в теоретическую физику и астрономию, рассматриваются его философские воззрения и популярные произведения. Особое внимание уделено критическому разбору философских взглядов Джинса — представителя кембриджской школы «физического» идеализма.

При изложении биографических сведений в распоряжении автора была немногочисленная литература о Джинсе, изданная в основном в Великобритании. Кроме того, были использованы архивные материалы — письма, конспекты и статьи Джинса, хранящиеся в Центральной библиотеке Кембриджского университета и в библиотеке Лондонского королевского общества. Ряд фотографий из личного архива ученого был прислан автору леги Джинс.

## История экзаменационной машины «СОТИЗ»

**Ю. И. Иорис,**  
доктор технических наук

Москва

Когда Иван Ильич открыл утром глаза, его первой мыслью было: а не зашла ли затея слишком далеко? Но доклад его на методической конференции значился первым. Теперь все равно уже, обратного хода нет.

А дело было в следующем. В те не очень далекие времена, лет 15 тому назад, «программированное обучение» делало только первые шаги. Конечно, современные успехи электроники и возможности интеллектуальных ЭВМ новых поколений не оставляют сомнений в общей перспективности этого метода. Однако достижения тех лет сейчас кажутся наивными, ошибки — даже немного забавными, но главное — поучительными.

Представьте себе. Идет экзамен, скажем, по литературе. Студент получает вопрос: «Какой быт изобразил А. С. Пушкин в главе II «Евгения Онегина?» И к нему четыре варианта ответов, на выбор: 1) рабовладельческий; 2) капиталистический; 3) крепостнический; 4) чиновничий.

Или на экзамене по физике: «Как правильно записывается второй закон Ньютона?» И такие варианты: 1)  $f = m/w$ ; 2)  $f = \gamma m_1 m_2 / r^2$ ; 3)  $f = mw$ ; 4)  $f = kx$ .

Занумерованные вопросы (их бывало несколько) и варианты ответов высвечивались на экране «экзаменационной машины», и студенту оставалось только нажимать кнопки вопросов и кнопки ответов. С последним нажатием высвечивалась отметка: «пятачка» — за все верные ответы, «четверка» — при одной ошибке и т. д.

Такими машинами были оборудованы целые аудитории, и преподаватель, восседавший за центральным пультом, мог с помощью селектора контролировать работу каждого студента. Скорость — потрясающая. Одному человеку ничего не стоило проэкзаменовывать за час сотню студентов. Деканатские работники потирали руки — сколько высвобождалось незанятой преподавательской силой!

Раньше других опомнились гуманитарии. Допустим, вопрос касается известного исторического события или политической фигуры. Язык не поворачивается предложить на выбор нелепые ответы наравне с правильными.

Сейчас это воспринимается как шарж. А на гребне модной волны программирования кафедры изо всех сил готовили новые программы, соревновались, кто больше проэкзаменует студентов, осваивали машины разных типов, издавали методические пособия.

Ну, а студенты? Только самые неспособные продолжали изучать предмет, а нормальные, пользуясь своими способностями, быстро узнавали, какие надо нажимать кнопки. Опытные преподаватели протестовали против внедрения машин, но обеспечиваящих ни обратной связи студента с преподавателем, ни анализа ответов, ни гибкости и индивидуализации программы в процессе ее использования.

Иван Ильич, можно сказать, возглавил недовольных в своем институте. Не воспользоваться методической конференцией, конечно же, было грешно. Но начальство заранее объявило, что дискуссии не будут и принимаются только тезисы докладов, пропагандирующих прогрессивный метод.

Ах, пропагандирующих... Пускай. И Иван Ильич решил написать тезисы в духе памфлета.

### ОБЪЕКТИВНОЕ ВЫСТАВЛЕНИЕ ОЦЕНКИ ПРИ ПОМОЩИ ЭКЗАМЕНУЮЩИХ МАШИН ТИПА «СОТИЗ»

На международной выставке «Физика-75» в Москве демонстрировались экзаменационные машины французской фирмы «СОТИЗ», использующие физиологические реакции организма студента в связи с заданным ему вопросом и необходимостью дать правильный ответ. По существу, в таком устройстве используются принципы, заложенные в пресловутом «детекторе лжи», созданном в начале века Н. Картером.

Естественно, что обоснованное применение аналогичных устройств для целей образования не имеет ничего общего с употреблением детектора лжи, ставшего одним из орудий полицейских служб капиталистического общества в его борьбе со своими противниками.

Машины «СОТИЗ» с помощью особо чувствительных датчиков регистрируют сразу несколько видов реакции. Например, расширение зрачка при необходимости дать ответ на незнакомый вопрос или повышение температуры в лобных пазухах, если студент вообще не понимает вопроса. Таким образом, появляется возможность объективно оценивать знания студента, который в протязе экзамена даже не раскрывает рта, и преподавателю нет необходимости вслушиваться в поток маловразумительных слов.

На кафедре физики нашего института было изготовлено (в макетном исполнении) аналогичное устройство. В качестве реакции использовалась вибрация skulls, возникающая у студента, если он не знает ответа на вопрос, но все-таки рассчитывает на положительную оценку. Чувствительным элементом служит один из инерционно-плазменных датчиков, разрабо-

таных автором совместно с инженером А. И. Гутманом.

Устройство работает следующим образом. Студенту задается вопрос. Если он признает, что ответа не знает, то должен нажать левую красную кнопку, отчего загорается красная лампочка. Поскольку ответ дан, притом правильно, преподаватель выставляет соответствующую отметку. Если же студент хочет заявить, что ответ ему будто бы известен, то ему следует нажать правую зеленую кнопку и при этом загорается зеленая лампочка.

Проверка, произведенная по дрожанию скул в двух группах II курса, показала, что все студенты, нажимавшие красную кнопку, действительно, не знали ответов на вопросы, а нажимавшие зеленую — отвечали неудовлетворительно.

Таким образом, накопившийся положительный опыт по эксплуатации машин с нажиманием кнопок позволил кафедре физики решительно изъять их полностью. А развиваются и совершенствуются на кафедре методы проверки, требующие вращения (шариками).

Кстати, "softise" по-французски значит глупость, дурачество, шутка.

\*

Проректор, ответственный за выпуск тезисов, был человек занятой. Быстро переворачивая странички и дойдя до тезисов Ивана Ильича, Проректор пронзил их острым взглядом и изрек: «Тут у вас обсуждается важный вопрос

объективности оценок. Согласитесь, однако, что последняя фраза выпадает из контекста». И чирк по ней ручкой.

Иван Ильич попытался было что-то сказать, но передумал и махнул рукой. Так его памфлет, изрядно завуалированный, пошел в печать: 1000 экз. сборника, с рассылкой по всем вузам страны.

В своем докладе на конференции Иван Ильич рассказал о чем-то, не связанном с «тезисами». Все бы так, наверное, и обошлось. Однако доцент Михаил Борисович, занимавшийся во время доклада своим делом, но просмотревший тезисы заранее, решил выступить. Отметив оригинальность идеи и похвалив кафедру физики за внедрение нового метода, он сказал: «Все-таки лучше поискать какую-нибудь другую реакцию. У меня, знаете, есть студент, Жабриков. Физически очень сильный человек. Если он сожмет зубы, то вы у него не обнаружите вибрации скул никакими приборами».

Но когда Михаилу Борисовичу кто-то шепнул, что в эксперименте скулы студентов дергались от смеха, ему все стало ясно и он рассмеялся.

Вскоре о шутке стало известно всем. В том числе — начальству. У Ивана Ильича были неприятности, но несущественные по сравнению с окончательным результатом: открытое недовольство преподавателей нарастало и примитивные экзаменационные машины вскоре убрели со всех кафедр. Хотя, правда, из нескольких вузов все же

пришли просьбы выслать техническую документацию на изготовление машин типа «СОТИЗ».

Доцент Пушков из Челябинска прислал жалобу, что тезисы конференции, являющиеся методическим материалом, составлены небрежно. Из них, мол, нельзя понять, каких студентов следует считать выдержавшими экзамен — нажимавших красную или зеленую кнопку. Кроме того, писал Пушков, в тезисах не раскрыта роль каких-то шариков.

«Чего только педагогика высшей школы не вынесла! — отчаянно восклицал доцент Гребеньков из Волгограда. — И вот теперь контроль знаний по дрожанию скул!»

\*

Воспоминание об этой невывдуманной истории вызывает улыбку, но грустную. И, честно говоря, автор взялся за перо только потому, что теперь во всех средних учебных заведениях страны вводится курс «Основы информатики и вычислительной техники» и предусматривается проведение широкого эксперимента по использованию ЭВМ в преподавании школьных предметов. Очевидно, компьютеризация средней школы, в которой обучаются наши дети и внуки, скажется на самой методике преподавания, особенно естественных дисциплин.

Хотелось бы, чтобы эта работа, характеризующая новый этап в развитии среднего образования, осуществлялась без формализма и административных перегибов, через которые прошла высшая школа.

В номере использованы фотографии АППАКА Б. А., БЫЧКОВА В. А., ГАНИУШИНА А. Н., ГАСАНОВА И., ГРАНОВА Н., ЗЕНКИНОЙ В. С., КАФТАНОВОЙ Л. С., ЛОБКОВА Е. Г., ЛЮБИНСКОГО Е. Р., СЕЙФУЛИНА Э., ЧЕРНОВА А. В.



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука».

Адрес редакции:  
117049, Москва, ГСП-1,  
Мароновский пер., 26.  
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 10.06.86.  
Подписано к печати 14.07.86.  
Т—01586  
Формат 70×100 1/16  
Офсет  
Усл.-печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. 1365,3 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,2  
Бум. л. 4  
Тираж 51 000 экз. Зак. 1675

Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 142300 г. Чехов Московской области



### Следующий, № 9 «Природы»

посвящается 275-летию со дня рождения  
Михаила Васильевича Ломоносова  
8(19).XI 1711 — 4(15).IV 1765

Научные идеи и начинания великого сына России, естествоиспытателя и просветителя, организатора науки и патриота, опередили свое время и не утратили ценности и поныне. Об этом статьи: «Слово о Ломоносове» председателя Президиума Северо-Кавказского научного центра высшей школы, ректора Ростовского государственного университета им. М. А. Суслова члена-корреспондента АН СССР Ю. А. Жданова; «Наш первый университет» вице-президента АН СССР, ректора Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова академика А. А. Логунова; «О природе стекла» директора Института химии силикатов им. И. В. Гребенщикова АН СССР академика М. М. Шульца; «Извлечь вещи из темноты» директора Государственного оптического института им. С. И. Вавилова члена-корреспондента АН СССР М. М. Мирошникова; «225 лет исследований атмосферы Венеры» директора Института геохимии и аналитической химии АН СССР члена-корреспондента АН СССР В. Л. Барсукова и доктора геолого-минералогических наук В. П. Волкова; «Бесценный дар природы» декана факультета почвоведения Московского государственного университета члена-корреспондента АН СССР Г. В. Добровольского; «Истоки и судьба „закона Ломоносова“» доктора философских наук Н. Ф. Овчинникова; «Признаки скрытых руд на поверхности Земли» доктора географических наук И. К. Волчанской; «Колумб Российский между льдами» полярного исследователя Н. А. Волкова; «Прирастать будет Сибирью» первого заместителя председателя Сибирского отделения АН СССР, директора Института геологии и геофизики им. 60-летия СССР академика А. А. Трофимку и кандидата геолого-минералогических наук В. Д. Ермикова; «Храм наук» и «Книга природы» кандидата философских наук Н. К. Гаврюшина.

Редакция надеется этими статьями пополнить обширную антологию «Природы», посвященную М. В. Ломоносову и сложившуюся за 75-летнюю историю журнала.



Цена 80 к.  
Индекс 70707

