

ISSN 0032-8744

6
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. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

На первой странице обложки. Росзянка промежуточная (*Drosera intermedia*) — обитательница переходных болот Полесского заповедника, вид, внесенный в «Красную книгу Украинской ССР».

На четвертой странице обложки. Черный вист (*Cicopla nigra*) — редкая птица не только на Украине, но на всей территории СССР, гнездится в глухих лесных уголках Украинского Полесья. См. в номере: Андриенко Т. Л. Полесский заповедник.

Фото К. Д. Стародуба

В НОМЕРЕ

- Синицын А. П. Ферменты атакуют целлюлозу** 3
 Биотехнологический метод переработки растительного сырья с помощью ферментов пока дорог. Но его преимущества перед давно используемым в производстве кислотным методом неоспоримы.
- Гизбург В. М. Как научить машину «видеть», или Антропоморфная обработка изображений** 14
 Как быстрее и надежнее распознать тот или иной объект? Глаз, по-видимому, «выбирает» в нем отдельные информативные фрагменты, формируя на сетчатке расфокусированное изображение объекта. Техническое «зрение», основанное на этом принципе, имеет много преимуществ.
- Барсуков В. Л., Базилевский А. Т. Геология Венеры** 24
 Геологическое строение Венеры «прочитывается» на радиолокационных изображениях, полученных советскими космическими аппаратами «Венера-15 и -16».
- Андрюенко Т. Л. Полесский заповедник** 36
 Быть эталоном природы Украинского Полесья этому заповеднику мешают вклинившиеся в его владения мелиорированные земли. Есть и другие проблемы, которые требуют решения.
- КРАСНАЯ КНИГА**
Даревский И. С., Даниелян Ф. Д. Малоазиатская ящерица исчезает из фауны СССР 41
 Сейчас на территории Советского Союза известна только одна популяция этой ящерицы, но и она может исчезнуть, если участок обитания будет распахан.
- Резанов А. Г. Кормятся птицы** 44
 Чтобы приспособиться к жизни в городах и других крупных населенных пунктах, птицы вынуждены менять многие природные повадки, в первую очередь связанные с добычей корма.
- Батищев Г. С. Познание творчества** 50
 К проблеме творчества обращаются представители разных наук. Изучаются «механизмы» творческих актов, переживание их человеком, различные способы решения творческих задач и т. д. Философию интересует сущность творчества. В любых частных научных исследованиях важно не подменять эту сущность, «не потерять» ее.
- Кульберг А. Я. «Свое» или «чужое»? (Молекулярные основы биологического распознавания)** 60
 Изучение свойств клеточных рецепторов — мембранных белков, воспринимающих химическую информацию из внешнего мира, — начато сравнительно недавно. Однако предлагаемая автором гипотеза уже сейчас позволяет понять структурные особенности и происхождение этих специфических белков.
- Борин А. А. Полет в природе и технике: соревнование? ученичество?** 68
 Решая одинаковые задачи, человек и природа зачастую идут различными путями. И это не случайно.

| | |
|---|------------|
| Маленков А. Г., Ковалев И. Е. Кожа и происхождение человека | 76 |
| <i>Бесшерстную кожу человека можно рассматривать как важный биологический признак, появление которого, по-видимому, сыграло большую роль в развитии трудовой деятельности людей, в становлении Homo sapiens как вида.</i> | |
| Кардашев Н. С., Марочник Л. С. Феномен Шкловского | 84 |
| <i>Парефразируя слова П. Дирака о «золотом веке физики», можно сказать, что Иосиф Самуилович Шкловский не опоздал к началу «золотого века астрофизики» — он стоял у истоков отечественной и мировой радиоастрономии, у истоков современной всеволновой астрофизики.</i> | |
| Милюков В. К. Изменяется ли гравитационная постоянная? | 96 |
| <i>Сегодня на этот вопрос можно ответить отрицательно. И тем не менее вариации гравитационной константы теоретически не исключены. Нужны более точные эксперименты, которые приблизят нас к пониманию самого слабого физического взаимодействия — гравитационного.</i> | |
| ДИАЛОГ С ЧИТАТЕЛЕМ | 105 |
| НОВОСТИ НАУКИ | 106 |
| <i>Орбитальная станция «Мир» (106) • Запуски космических аппаратов в СССР (январь — февраль 1986 г.) (106) • Быстрый пульсар в Лебеде X-3 (107) • Странное кольцо Нептуна (108) • Уран выглядит иначе (108) • «Небесный крюк» — детектор гравитационных волн (108) • Блуждающие или локализованные? (109) • Дистанционное измерение ветра (110) • Термо- и фоточувствительность опухолевых клеток (110) • Антиокислитель замедляет старение (111) • Новый метод растворения тромбов (111) • Как белки движутся через клетку (111) • Незначащая РНК и регуляция генов (112) • Структура комплекса антиген-антитело (112) • Белок, подавляющий иммунный ответ (113) • Новый метод диагностики сердечных заболеваний (113) • Восприятие сигналов в состоянии гипноза (113) • Дрожжи-убийцы (114) • Грибки очищают природную среду (114) • Яйцеклетки коров развиваются в яйцеводах крольчих (115) • Где ты, доктор Айболит? (115) • «Брачные» взаимоотношения лесных завирушек (116) • Вымершие бесчелюстные и формула Бернулли (116) • Стрение океанической коры Норвежского моря (117) • Роколл — ключ к геодинамическим проблемам (118) • Минеральные ресурсы подводного хребта Лорд-Хау (119) • Южный магнитный полюс изменил свое положение (120) • Полюнья и погода в Беринговом море (120) • Начало заселения человеком территории СССР (120)</i> | |
| РЕЦЕНЗИИ | |
| Таусон Л. В. Вспоминая Александра Павловича Виноградова ... (рец. на кн.: Л. Маркелова. Познание мира) | 121 |
| Заварзин Г. А. Происхождение жизни на Земле: современные задачи по изучению проблемы (рец. на кн.: Search for the Universal Ancestors) | 123 |
| НОВЫЕ КНИГИ | 126 |
| <i>Ибрагимов Ш. Ш., Кирсанов В. В., Пятилетов Ю. С. Радиационные повреждения металлов и сплавов (126) • Константинов А. И., Мовчан В. Н. Звуки в жизни зверей (126)</i> | |
| В КОНЦЕ НОМЕРА | |
| Рылов А. Л., Хвасин А. Л., Ремнев В. Н. История одного ленивца | 127 |

Разрабатывать научные основы катализа, химической технологии, биотехнологии... Значительно расширить производство кормового белка и других биологически активных веществ... Активнее внедрять научно-технические достижения в области биотехнологии и генной инженерии.

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

Ферменты атакуют целлюлозу

А. П. Синицын



Аркадий Пантелеймонович Синицын, кандидат химических наук, старший научный сотрудник кафедры энзимологии химического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов связана с инженерной энзимологией, ферментативным гидролизом природных полисахаридов, превращением сахаров в различные продукты с помощью иммобилизованных микроорганизмов, математическим моделированием ферментативных процессов.

Немного, видимо, найдется в природе веществ, столь же распространенных, как целлюлоза (или клетчатка) и, как она, нашедших широчайшее применение в жизни человека. Было время, когда целлюлоза, вернее, древесина применялась в основном как строительный материал; из целлюлозных волокон хлопчатника и льна делали ткани, а единственным «химическим» способом ее использования было сжигание. Теперь из целлюлозы изготавливают бумагу, картон, ткани, искусственные волокна, лаки, пленки и т. д. Для получения всех этих продуктов целлюлоза используется в виде природного полимера, но в последние два десятилетия все острее ощущается потребность получать из целлюлозы ее мономерное звено — глюкозу. Необходимость такого превращения оправдана многим: глюкоза — это важный компонент питания человека (по данным ФАО, потребность человека в сахаристых веществах удовлетворяется примерно на 70%), животных, микроорганизмов; прекрасный исходный

материал для разнообразных процессов химического и микробиологического синтеза.

Какие способы гидролиза целлюлозы уже существуют в промышленном масштабе, какие находятся лишь в стадии лабораторных исследований или полупромышленных испытаний? За какими методами видят исследователи будущее гидролизного процесса, в чем его суть и преимущества? В данной статье мы попытаемся ответить на эти вопросы.

ЦЕЛЛЮЛОЗА КАК ХИМИЧЕСКОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Потребность человечества в глюкозе велика, но нет принципиальных преград для того, чтобы синтезировать ее (а также и другие сахара) химическим путем в лаборатории или на заводе. Однако в этом нет необходимости, поскольку природа сама, без участия человека, справляется с таким процессом: за счет энергии солнца

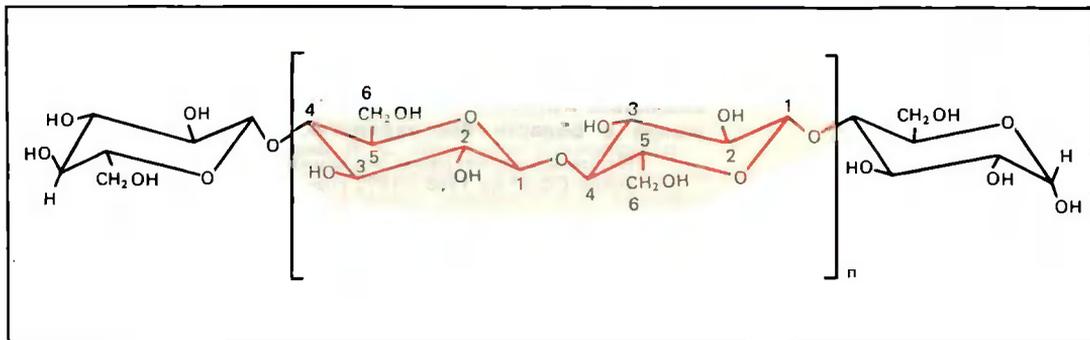


Схема строения молекулы целлюлозы. Скобками ограничена целлобоза, единичное звено, состоящее из двух остатков глюкозы и повторяющееся в молекуле целлюлозы n раз. Каждый остаток глюкозы повернут относительно своего соседа на 180° , а его пространственная конфигурация соответствует так называемой форме кресла.

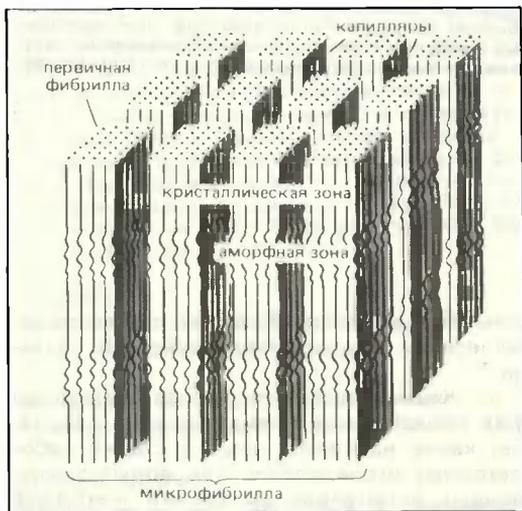


Схема упаковки целлюлозы в растительных тканях.

глюкоза образуется в фотосинтетическом аппарате растений — хлорофилловых зернах — из углекислого газа и воды. Молекулы глюкозы соединяются в разного рода цепочки — линейные, простые или разветвленные, т. е. в целлюлозу, крахмал и другие сложные углеводы. Каждый из них или запасается в специальных органах (тканях) растений, или идет на построение клеточных структур. Целлюлоза, например, является основным структурным компонен-

том клеточной стенки, ее общее содержание в растениях достигает 40—50 %.

Синтезируется она одновременно с другими полисахаридами — гемицеллюлозами (в их состав кроме глюкозы входят многие другие углеводы) и инкрустирующим веществом лигнином (продуктом полимеризации ароматических спиртов). Только клеточная стенка очень немногих растений, в том числе хлопка и льна, не содержит сопутствующих веществ, а состоит из одной целлюлозы.

Как химическое соединение целлюлоза представляет собой линейный полимер β -изомера (одного из двух стереоизомеров) глюкозы, причем первый атом углерода в одной молекуле глюкозы соединен с четвертым атомом углерода соседней. Каждый остаток глюкозы повернут относительно соседнего на 180° . В этом основное отличие целлюлозы от других полимеров, тоже состоящих из молекул глюкозы, например крахмала. Количество звеньев глюкозы (его называют степенью полимеризации) в макромолекулах целлюлозы может быть различным: в хлопке, например, каждая целлюлозная цепочка содержит 1500 остатков глюкозы, в древесной целлюлозе их 2—3 тыс., а в целлюлозе льна — 30 тыс.

Длинные молекулы целлюлозы обычно расположены параллельно друг другу и соединены между собой многими водородными связями в первичные фибриллы. Из первичных фибрилл формируются микрофибриллы (сечением 10×20 нм и длиной около 60 нм). Промежутки (капилляры) между ними шириной до 10 нм заполнены лигнином и гемицеллюлозами. Есть капилляры и между первичными фибриллами, их ширина в 10 раз меньше, и потому через них могут проходить только молекулы воды или другие столь же небольшие молекулы.

Структура первичных фибрилл не однородна по их длине: в них есть зоны, в которых молекулы целлюлозы упорядочены (такие зоны называют кристаллическими), и аморфные — с более рыхлой и менее упорядоченной упаковкой целлюлозных молекул. Высокая степень полимеризации, наличие кристаллических зон и большого числа водородных связей обеспечивают высокую прочность целлюлозного волокна.

Чтобы превратить целлюлозу в глюкозу, необходимо разорвать связи между звеньями глюкозы, т. е. гидролизовать их. Сделать это непросто, так как глюкозидные связи достаточно прочны.

КАК И ДЛЯ ЧЕГО ГИДРОЛИЗУЮТ ЦЕЛЛЮЛОЗУ

Первые работы по гидролизу целлюлозы были выполнены еще в начале XIX в. В 1819 г. во Франции, а через три года в России удалось получить глюкозу из льняного волокна и бумаги при действии на них концентрированной серной кислоты. Кислотный гидролиз казался настолько заманчивым, что уже в 1854 г. во Франции был построен опытный завод по производству этилового спирта, который получали, сбраживая глюкозу, а точнее, кислотные гидролизаты древесных опилок. В первой половине XX в. кислотный гидролиз древесины и другого растительного сырья в промышленном масштабе существовал в СССР, США, Германии, Швейцарии, Франции и других странах. Основной продукцией был этанол (его получали также и из крахмала), который дальше в одних странах, в том числе и нашей, использовался в производстве каучука, а в других — в виде смеси с бензином — служил топливом для двигателей внутреннего сгорания (по этому пути интенсивно работала гидролизная промышленность Германии).

Но в 50-е годы гидролизное производство во многих странах было свернуто: получать таким способом этиловый спирт, чтобы сжигать его в двигателях, оказалось невыгодно. Нефть и получаемый из нее бензин вытеснили этанол, так как были дешевле. После энергетического кризиса 1973 г., когда нефть сильно вздорожала на мировом рынке, в целом ряде стран возродились исследования кислотного гидролиза растительного сырья и разработки новых более эффективных технологий.

В нашей стране гидролизная промышленность существует и поныне, правда, сам технологический процесс сильно изменил-

ся: гидролиз осуществляется не более чем 2 %-ной серной кислотой при температуре около 200° С. Образующиеся сахара в виде разбавленного 2—3 %-ного раствора в основном используются для выращивания кормовых дрожжей, частично сбраживаются до этилового спирта. Попутно в гидролизном производстве образуются также фурфурол, углекислый газ, лигнин.

Совершенствование кислотного гидролиза растительного сырья продолжается до настоящего времени, исследователи ищут пути, по которым гидролиз можно сделать более интенсивным. Но принципиальные, трудно преодолимые недостатки кислотного способа гидролиза остаются. Метод дорог, так как требует высоких энергетических затрат, а в технологических установках приходится использовать антикоррозийные материалы. Кроме того, образующиеся сахара частично разрушаются, из сопутствующего лигнина образуются растворимые токсичные соединения, которые затрудняют последующую микробиологическую переработку гидролизатов. К этому следует добавить необходимость нейтрализовать гидролизаты, относительно большой расход кислоты, низкие по сравнению с теоретическими выходы сахаров. Назрела необходимость отыскать другой, не кислотный способ получения сахаров из растительного сырья или отходов различных производств. Этот новый способ был найден случайно.

ГИДРОЛИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПО ПРИРОДНОМУ ПРИНЦИПУ

Во время второй мировой войны перед учеными одного из армейских научных центров США была поставлена задача выяснить, почему в тропическом климате быстро гниет хлопчатобумажная ткань. Причина была найдена: гниение вызывалось действием микроскопических грибов, вернее, ферментов, которые грибами вырабатываются. Этими ферментами оказались целлюлазы, способные гидролизовать целлюлозу до глюкозы.

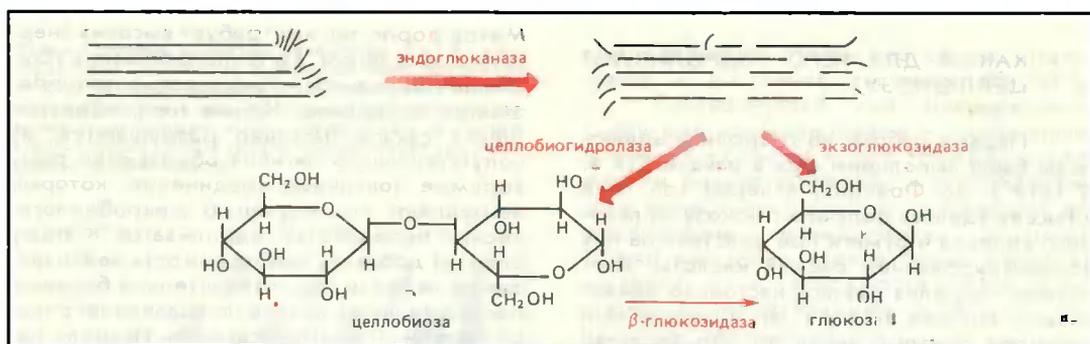
С этой поры за изучение целлюлаз взялись исследователи многих стран. Первые работы подобного рода в Советском Союзе начались около 20 лет назад в Институте биохимии им. А. Н. Баха АН СССР¹. Теперь уже установлено, что в клетках микроорганизмов гидролиз целлюлозы осу-

¹ Целлюлазы микроорганизмов. М., 1981.

ществляется не одним ферментом, а целой системой, целлюлазным комплексом, в который входят три типа ферментов, различающихся специфичностью. Первый из них, эндо-1,4-β-глюканаза, разрушает крупную полимерную молекулу целлюлозы на несколько частей, действуя в основном на аморфные участки. В результате работы этого фермента образуется очень мало растворимых продуктов — глюкозы и целлобиозы (димера, состоящего из двух остатков глюкозы). Затем на молекулы с частично разрушенной структурой дейст-

ставляющих ее индивидуальных ферментов, т. е. проявляется синергизм, который, видимо, составляет характерную особенность полиферментных ансамблей.

Гидролизующие целлюлозу ферменты синтезируются многими микроорганизмами: грибами, бактериями, актиномицетами, а также некоторыми беспозвоночными, жизнь которых так или иначе связана с разложением растительной ткани. Образующаяся глюкоза для микроорганизмов и позвоночных служит источником углерода и энергии. В самих растениях целлюлазы



Простейшая схема ферментативного гидролиза целлюлозы. Реакция проходит под действием нескольких ферментов, различающихся специфичностью. Первый фермент — эндоглюканаза — расщепляет молекулы целлюлозы на несколько частей, т. е. как бы разрыхляет плотно упакованный полимер. На следующей стадии работают два фермента: целлобиогидролаза, расщепляющая молекулы целлюлозы с частично разрушенной структурой до целлобиозы, и экзоглюкозидаза, за счет действия которой образуется конечный продукт ферментативного гидролиза — глюкоза. Образующаяся целлобиоза дальше расщепляется до глюкозы еще одним ферментом — β-глюкозидазой.

вуют экзо-1,4-β-глюканазы — два фермента, гидролизующие молекулы целлюлозы с левого конца ее цепи. Первый из них — целлобиогидролаза — расщепляет каждую вторую гликозидную связь, и в результате образуется целлобиоза; второй фермент — экзоглюкозидаза — отщепляет по одному остатку глюкозы. Одновременно фермент β-глюкозидаза катализирует гидролиз целлобиозы до глюкозы.

Полнота гидролиза целлюлозы обеспечивается только совместным действием ферментов целлюлазной системы. Но кроме того, в ней усиливается действие со-

играют важную регуляторную роль в процессах роста и дифференцировки клеток.

Естественно прийти к выводу, что организмы, содержащие целлюлазы, могут служить источником получения этих ферментов, чтобы затем использовать их для гидролиза растительного сырья сначала в лаборатории, а потом и в промышленных установках. Начались работы по изучению природных целлюлазных комплексов, эффективности гидролиза ими различного растительного сырья. По инициативе И. В. Березина исследованиями целлюлаз в 1973 г. занялись и в лаборатории энзимологии кафедры химической кинетики химического факультета МГУ (впоследствии эта лаборатория выросла в кафедру, где и работает автор статьи).

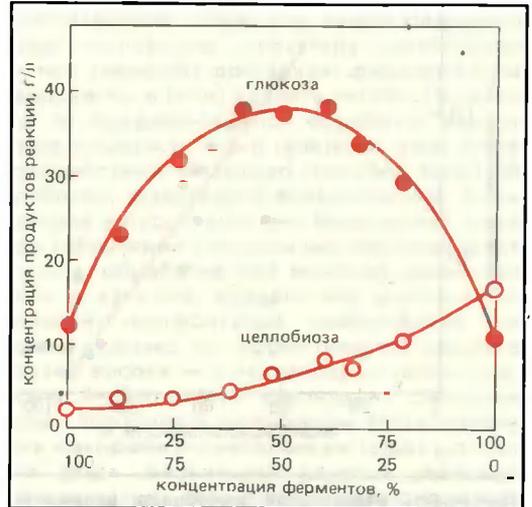
В результате многочисленных исследований выяснилось, что целлюлазные комплексы разных организмов отличаются и количеством входящих в них индивидуальных ферментов, и активностью каждого из них. Кроме того, фермент одной специфичности может иметь несколько форм, или изоферментов, различающихся молекулярной массой, устойчивостью к температуре, электрическим зарядом молекулы и другими физико-химическими свойствами, от которых зависит активность фермента. Ока-

залось, что в природных целлюлазных комплексах активность одного фермента может быть высокой, а других низкой. Следовательно, такие комплексы не могут идеально гидролизовать целлюлозу. Чтобы она гидролизовалась нацело, до конечного продукта — глюкозы, чтобы не накапливались промежуточные продукты гидролиза из-за недостаточной активности какого-либо из компонентов целлюлазного комплекса, он должен быть сбалансирован.

Добиться того, чтобы ферментативный гидролиз был максимально полным, можно, создав искусственные композиции из целлюлазных комплексов нескольких микроорганизмов. В таких композициях можно объединить достоинства каждого составляющего комплекса и, следовательно, создать идеальный ферментный препарат для гидролиза целлюлозного материала. После изучения целлюлаз более чем из 20 микроорганизмов мы составили одну композицию из целлюлазного комплекса микроскопического гриба *Trichoderma viride* и ферментов, образуемых другим грибом — *Aspergillus foetidus*. В экспериментах мы получили убедительные доказательства того, что волокна хлопчатника гидролизуются быстрее и полнее смесью ферментов из двух организмов, чем целлюлазами каждого из них по отдельности. Этого мы и ожидали, поскольку ранее установили, что у *T. viride* высока активность эндоглюканазы и целлобиогидролазы, а у *A. foetidus* — наиболее активна из целлюлаз β -глюкозидаза².

Однако создание специальных искусственно подобранных ферментных систем для гидролиза целлюлозы, по мнению специалистов, не самый лучший метод. Более совершенный, хотя и более сложный путь — это получение генетическими и генно-инженерными методами самих микроорганизмов, способных производить идеальный по сбалансированности действия целлюлазный комплекс. Уже сейчас получены мутантные штаммы *T. reesei*, в которых общая эндоглюканазная активность целлюлазного комплекса более чем в 10 раз выше активности этих ферментов, синтезируемых природным штаммом³. Общая активность мутантных штаммов увеличилась за счет того, что клетки микроорганизма стали син-

тезировать ферменты в большем количестве, хотя молекулярная активность целлюлаз фактически осталась прежней. Пока не удалось получить штамм, в котором все ферменты целлюлазного комплекса были бы сбалансированы и по составу, и по активности. Больше перспектив в создании идеального целлюлазного комплекса, очевидно, у генно-инженерных методов. Взяв исходные хорошо изученные микроорганизмы и сделав пересадку целлюлазных генов, можно создать новый микроорганизм с заданными необходимыми свойства-



Зависимость эффективности гидролиза целлюлозы (расчеты сделаны для продуктов гидролиза — целлобиозы и глюкозы) от состава ферментного препарата. Применялась смесь целлюлаз из двух низших грибов — *Trichoderma viride* и *Aspergillus foetidus*, причем концентрация целлюлаз из *T. viride* менялась от 0 до 100% (верхний ряд цифр на оси абсцисс), а из *A. foetidus* в этом же растворе — от 100% до 0% (нижний ряд цифр). Видно, что выход целлобиозы мало меняется, а наибольшее количество глюкозы образуется при равном содержании ферментов из того и другого гриба.

ми. Можно, по-видимому, и придать ферментам столь важные качества, как высокая термостабильность, устойчивость к ингибирующему действию продуктов и т. д. Но и генетические, и генно-инженерные методы создания идеального целлюлазного комплекса — это дело будущего. Вернемся к настоящему и рассмотрим, что можно сделать, чтобы получить хорошие результаты уже сейчас.

² Синицын А. П., Наржеми Б., Клевсов А. А. // Химия древесины. 1982. № 2. С. 91—96.

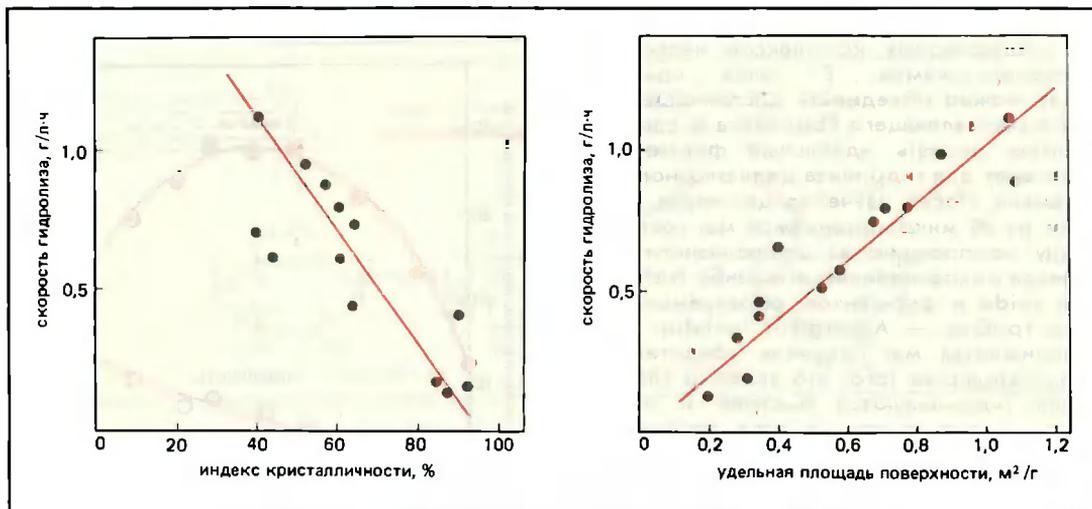
³ Warzywoda M., Vadecastelle J. P., Pourguie J. // Biotechnol. Lett. 1983. № 5. P. 243—246.

ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Выход конечного продукта при гидролизе растительного сырья зависит не только от активности ферментов, но и от условий самого гидролиза, свойств целлюлозного материала. Сама целлюлоза и содержащиеся ее растительные отходы не растворимы в воде, целлюлазы же используются для гидролиза в виде растворов. Поэтому очень важно, как прочно удерживаются

что скорость гидролиза аморфной целлюлозы зависит, в основном, от количества адсорбированного фермента, тогда как для гидролиза кристаллической целлюлозы важнее прочность его связывания на поверхности кристаллита⁵. При малой прочности адсорбции ферменты почти не действуют на кристаллическую целлюлозу.

Позднее мы установили, что во время гидролиза ферменты могут ингибироваться продуктами гидролиза — целлобиозой и глюкозой, а температура в 60—70° С оказывается губительной для этих биоката-



Зависимость реакционной способности целлюлозы от степени ее кристалличности (слева) и от площади удельной поверхности, доступной молекулам ферментов. Видно, что с ростом кристалличности (это происходит из-за того, что гидролизуются преимущественно аморфные участки целлюлозы) скорость гидролиза падает. Зависимость от удельной площади поверхности целлюлозы обратная: чем больше поверхность, тем интенсивнее идет гидролиз.

ферменты на поверхности субстрата, от этого зависит скорость гидролиза. Особенно важно значение прочности связывания эндогликаназ.

Сотрудникам нашей лаборатории удалось выяснить, что количество адсорбированного фермента обусловлено свойствами целлюлозы, а прочность связывания — свойствами фермента⁴. Оказалось также,

лизаторов⁶. Ингибирование продуктами гидролиза сильно сказывается, даже если их общая концентрация в растворе составляет всего несколько процентов. Одна из возможностей предотвратить или уменьшить ингибирование — это добиться наиболее полного превращения целлобиозы в глюкозу, поскольку ее ингибирующая способность наименьшая. Для этого можно использовать целлюлазные комплексы с высокой активностью β -глюкозидазы или дополнительно обрабатывать первичные гидролизаты этим же ферментом, иммобилизованным (закрепленным) на нерастворимой матрице.

Но есть и другая возможность преодолеть ингибирование, превратив продук-

⁴ Рабинович М. Л., Черноглазов В. М., Клесов А. А. и др. // Докл. АН СССР. 1981. № 6. С. 1481—1486.

⁵ Клесов А. А., Сеницын А. П. // Биоорг. химия. 1981. Т. 7. № 12. С. 1801—1812.

⁶ Сеницын А. П., Наржеми Б., Клесов А. А. // Прикл. биохим. и микробиол. 1981. Т. 17. № 3. С. 315—327; Гусаков А. В., Сеницын А. П., Клесов А. А. // Биохимия. 1982. Т. 47. № 8. С. 1322—1331.

ты гидролиза в другие соединения, не оказывающие ингибирующего действия на ферменты. Для этого, например, одновременно с гидролизом можно сбрасывать получающиеся сахара в этанол, а его удалять из реакционной смеси, испаряя в невысоком вакууме, тогда не понадобится даже повышать температуру, что могло бы привести к инаktivации ферментов. Можно удалять продукты реакции с помощью ультрафильтрации реакционной смеси через полупроницаемые мембраны или волокна: через их поры свободно проходят лишь глюкоза и целлобиоза.

Мы только что упоминали о термической инаktivации целлюлаз. Следовательно, для ускорения гидролиза нельзя повышать температуру в реакторе, хотя известно, что скорость любой реакции, в том числе той, которую катализируют ферменты, увеличивается с повышением температуры. К счастью, сама целлюлоза стабилизирует сорбированные на ее поверхности целлюлазы, их термостабильность возрастает, как правило, в 2—4 раза по сравнению с ферментами, находящимися в растворе (за счет необратимых конформационных изменений молекул ферментов уже при температуре 60—70° С остается активной половина целлюлаз в течение всего нескольких десятков минут).

Естественно все же желание увеличить термостабильность целлюлаз. Обычный современный прием для увеличения термостабильности ферментов — закрепление их на нерастворимой матрице — для целлюлаз не годится: их субстрат, т. е. целлюлоза, тоже нерастворим (нерастворимая матрица пригодна только для β -глюкозидазы). И все-таки можно иммобилизовать эндо- и экзоглюканазы, ковалентно соединив их с растворимым полимерным носителем; таким образом как бы закрепляется активная конформация ферментов.

Рассказывая о проблемах инаktivации целлюлаз, мы имели в виду ферменты, выделенные из мезофильных микроорганизмов, т. е. тех, которые живут при средних значениях температуры. В природе же кроме них есть и термофильные, живущие при более высокой температуре. Оказалось, что и оптимальная температура действия целлюлаз этих микроорганизмов тоже выше: 60—70° С против 40—50° С для целлюлаз из мезофилов. Более того, термостабильность целлюлаз из термофильных организмов в десятки, а некоторых ферментов в сотни раз выше термостабильности мезофильных.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СЫРЬЯ

Вспомним, что первый из гидролизующих целлюлозу ферментов действует в основном на ее аморфную часть и что по мере гидролиза доля кристаллической целлюлозы увеличивается. А именно ее-то и расщепляют ферменты с трудом. Мешает гидролизу и лигнин, в большом количестве содержащийся во многих растительных материалах. Чтобы сделать целлюлозу более доступной для гидролиза ферментами, необходимо предварительная обработка растительное сырье, т. е. нужно разрушить кристаллическую структуру целлюлозы, и тем увеличить доступную ферментам поверхность, и (или) удалить лигнин. Поскольку от предварительной обработки зависит эффективность всего процесса, уже сейчас разработаны несколько способов такой обработки: физические, механические, химические и биологические. Физические методы (облучение γ -лучами или потоком электронов, обработка под высоким давлением или в вакууме, воздействие высокой или низкой температуры) сравнительно дешевы, однако их эффективность недостаточно высока — с их помощью можно достичь 2—5-кратного увеличения реакционной способности целлюлозы. Механическими методами (измельчением сырья в разного рода мельницах) удается увеличить реакционную способность целлюлозы в 10 и более раз.

Химических методов несколько, применяемые в них реагенты различны, но в целом, эти методы высоко эффективны, реакционная способность обработанной ими целлюлозы увеличивается в 10—15 раз. Однако эти методы имеют несколько существенных недостатков: необходимость использовать токсичные или агрессивные реагенты; необходимость регенерировать их для многократного применения; деструкция реагентами целлюлозы и других компонентов растительного сырья.

Биологический метод пока один. С помощью микроорганизмов, синтезирующих ферменты, способные разрушать лигнин, это тормозящее гидролиз целлюлозы соединение удаляется из растительного сырья. Недостаток метода — малую скорость утилизации лигнина микроорганизмами — сейчас пытаются преодолеть исследователи многих стран.

По энергетическим затратам все известные к настоящему времени методы предварительной обработки приблизительно равны: они составляют примерно

20 % энергии, содержащейся в растительном сырье, которое подвергается обработке. Вдвое ниже затрат на перечисленные способы только затраты на недавно предложенный метод парового взрыва⁷.

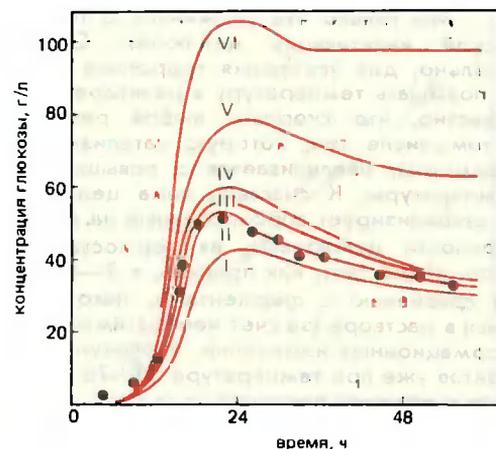
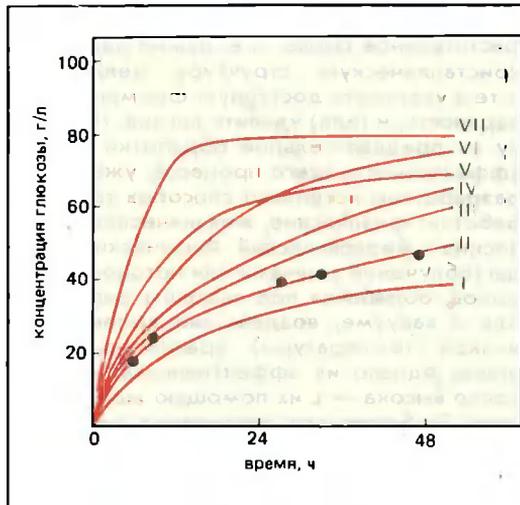
КАК ПРЕДСКАЗАТЬ РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОЛИЗА

Итак, на эффективность ферментативного гидролиза целлюлозы влияют состав и активность ферментов целлюлазного комплекса, адсорбционные свойства целлюлаз, их инактивация и ингибирование

продуктами гидролиза, структура и свойства самого растительного сырья. Можно ли количественно учесть все эти факторы и оценить их влияние на эффективность гидролиза, чтобы воспользоваться лучшими результатами?

Мы попытались обойтись без множества необходимых для этого экспериментов и смоделировали на ЭВМ весь процесс гидролиза для нескольких вариантов условий в двух типах реакторов⁸.

Прежде чем рассказать о результатах моделирования, остановимся на принципах



Влияние различных факторов на скорость ферментативного гидролиза целлюлозы в реакторе периодического действия (слева) и в колонном реакторе. Кривые построены по данным моделирования гидролизного процесса на ЭВМ, точками показаны экспериментальные результаты. В экспериментах применен целлюлазный комплекс из *T. reesei*, его же активность положена в основу моделирования. Во всех вариантах, кроме аторого, принималось только одно дополнительное, в сравнении с экспериментом, условие: I — целлюлоза принята за полностью кристаллическую; II — все факторы соответствуют эксперимен-

тальным; III — исключена термическая инактивация целлюлаз; IV — исключено ингибирование целлюлаз глюкозой; V — исключено ингибирование целлюлозы; VI — вся целлюлоза принята за аморфную; VII — исключены ингибирование продуктами гидролиза и термическая инактивация ферментов. Судя по расчетам, эффективность гидролиза в колонном реакторе выше, чем в реакторе периодического действия, при всех учтенных условиях. Видно также, что результаты самого эксперимента и моделирования тех же условий совпадают.

⁷ Кратковременное воздействие перегретым водяным паром (240—250 °С) под высоким давлением и быстрое снятие давления. Такая обработка может проводиться в присутствии двуокиси серы. В этих условиях лигнин плавится и высвобождается из волокон целлюлозы, одновременно гидролизуются гемцеллюлозы и разрушается структура целлюлозы. После такой обработки целлюлозное сырье легко гидролизуются целлюлазами. Существует и модификация метода парового взрыва, по которой в специальной установке одновременно измельчаются древесина или солома, под давлением подается перегретый пар (140—150 °С) и 4 %-ная серная кислота. Метод и установка впервые разработаны и созданы в СССР.

действия реакторов, в которых проводится гидролиз. Для этого чаще всего используется реактор периодического действия. В нем раз за разом повторяется один и тот же цикл гидролиза, состоящий из: заполнения реактора целлюлозным сырьем и раствором ферментного препарата; проведения гидролиза, в ходе которого поддерживается необходимый рН и темпера-

⁸ Gusekov A. V., Sinitsyn A. P., Klyosov A. A. // *Enz. Microb. Technol.* 1985. V. 7. №7. P. 346—352, 383—388.

тура реакционной смеси (иногда смесь перемешивается); разгрузки реактора после окончания гидролиза (его определяют по степени превращения сырья в глюкозу). В другом типе реактора — колонном, или реакторе непрерывного действия, — гидролиз идет в постоянном потоке жидкости, которая пропускается через колонну с сырьем и ферментами и уносит продукты реакции. Мы считаем, что многих трудностей гидролитического процесса можно избежать, если использовать колонный тип реактора.

За основу для моделирования мы взяли данные лабораторных экспериментов в реакторах периодического действия и в колонном. В этих экспериментах гидролизовали отходы бумаги (т. е. фактически чистую целлюлозу) ферментами, выделенными из *T. geesei*. Условия гидролиза были обычными для лабораторных установок, т. е. мы не предпринимали попыток сделать гидролиз более эффективным за счет каких-либо модификаций процесса. Модели создавались для нескольких вариантов гидролиза в каждом типе реактора, причем в любом варианте принималось только одно дополнительное к экспериментальным условие.

Оказалось, что на эффективность гидролиза в непрерывном колонном реакторе больше всего влияет степень кристалличности исходной целлюлозы — чем она выше, тем хуже идет гидролиз (со временем степень кристалличности увеличивается из-за того, что гидролизуются преимущественно аморфные участки). Примерно в такой же степени зависит от кристалличности эффективность гидролиза и в реакторе периодического действия, но к этому добавляется еще инактивация ферментов продуктами реакции. В колонном реакторе, из которого продукты удаляются постоянным потоком жидкости, их влияние на ингибирование ферментов сказывается значительно меньше. Более того, в таком процессе даже увеличивается термостабильность прочно связывающихся с целлюлозой ферментов.

Анализ данных моделирования показывает, что фактически при всех значениях и сочетаниях факторов, влияющих на скорость ферментативного гидролиза целлюлозы, эффективность колонного реактора превосходит эффективность реактора периодического действия.

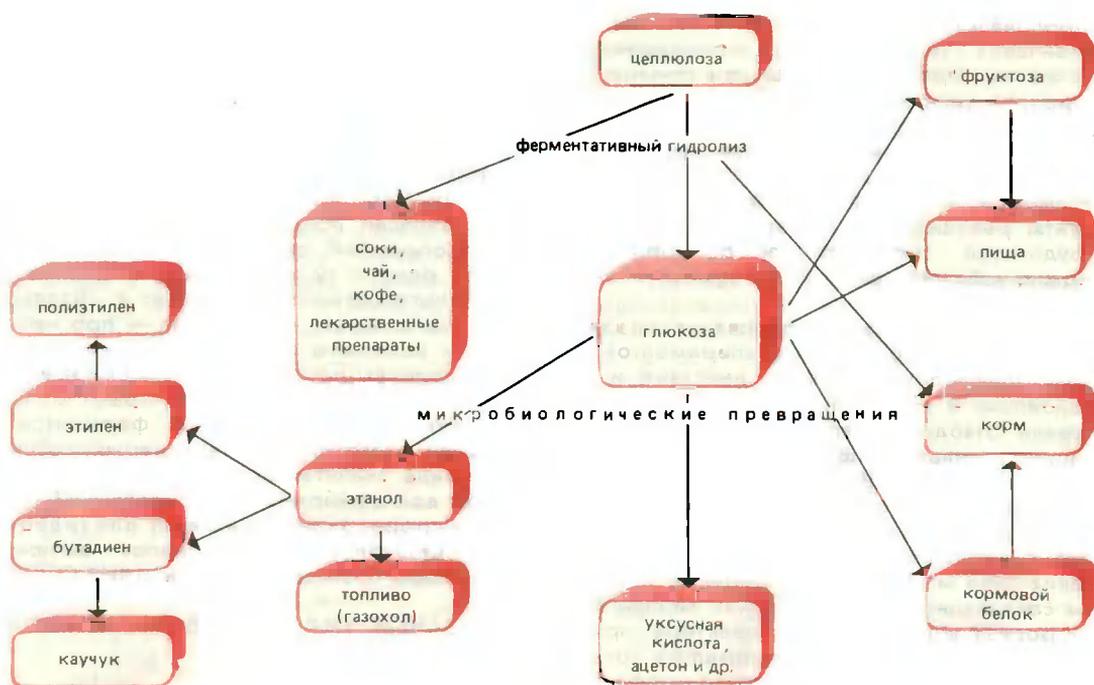
Нельзя здесь не сказать, что в Институте биохимии им. А. Н. Баха АН СССР группой сотрудников под руководством А. А. Клесова на основе колонного

реактора разработана технологическая схема и создана пилотная установка для получения сахаров ферментативным гидролизом. В обычном колонном реакторе раствор ферментов подается в верхний слой целлюлозы и гидролиз идет сверху вниз. За счет десорбции ферменты со временем выносятся из такого реактора, поэтому их количество приходится периодически пополнять. Авторам новой технологической схемы удалось использовать одну и ту же порцию ферментов для многократного гидролиза: в созданном ими аппарате нового типа — противоточном колонном реакторе — в нижнюю часть колонны постоянно подаются свежие порции целлюлозы, которые играют роль своеобразной ловушки для ферментов. За счет этого ферменты удерживаются в колонне значительное время и реактор может долго работать без обновления биокатализатора. За новый аппарат для гидролиза целлюлозных материалов авторы награждены бронзовой медалью ВДНХ СССР.

ЗАЧЕМ ГИДРОЛИЗОВАТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗНОЕ СЫРЬЕ

Что может дать широкое применение ферментативного гидролиза растительного сырья? В первую очередь — пищевые продукты: глюкозу, которая получается непосредственно, и фруктозу, более сладкий пищевой сахар, образующийся из глюкозы с помощью фермента глюкозомеразы. Надо сказать, что для получения пищевых продуктов довольно чистым должно быть исходное растительное сырье, зато если ферментативные гидролизаты использовать как корм для животных, требования к чистоте не столь жестки. В этом случае можно применять частично осахаренную ферментами растительную биомассу (полученную в простых по конструкции реакторах периодического действия). Кроме того, гидролизаты можно применять в качестве питательной среды для выращивания кормовых дрожжей, а значит, получать ценную кормовую массу, содержащую как углеводы, так и белки, которыми богаты дрожжевые клетки. Поскольку они могут усваивать не только глюкозу, но и ксилозу, источником углеводов для их получения может быть и целлюлоза, и гемцеллюлозы растительного сырья, а следовательно само исходное сырье может быть более разнообразным.

Сейчас в микробиологической промышленности нашей страны кормовые дрожжи выращиваются только на кислот-



Области применения целлюлаз.

ных гидролизатах древесины. Ферментативные гидролизаты растительного сырья вначале, видимо, составят дополнительный источник для получения кормовых дрожжей, который со временем должен заменить кислотные гидролизаты. Кроме того, на глюкозе можно выращивать различные виды микробов, способных вырабатывать такие важные для химических целей продукты, как бутиловый спирт, уксусную кислоту, ацетон и т. д.

В нашей стране технические препараты целлюлаз уже сейчас применяются в пищевой промышленности. В составе мультиферментных систем, расщепляющих клеточную стенку, их используют для увеличения выхода фруктовых соков, лекарственных веществ, при производстве розового масла и т. д. Широко применяются целлюлазы для увеличения выхода сбраживаемых сахаров за счет гидролиза некрахмальных углеводов зерна, а также для силосования кормов или в качестве добавки к готовым грубым кормам.

В других странах исследования процессов биотехнологического превращения растительного сырья направлены большей частью на решение энергетических проблем: разрабатываются способы получения топлива. Идея эта не нова, сводится она к уже известному с послевоенного времени способу использовать этиловый спирт в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания. А его, как мы видели, можно получать путем микробиологической переработки (сбраживания) содержащих сахара гидролизатов растительного сырья. Газохол (смесь 20—25 % этанола с бензином) можно использовать вместо чистого бензина без каких-либо изменений двигателя, а после модификации, на которую, по подсчетам специалистов автомобильной фирмы «Фольксваген», потребуется около 200—300 долл. на каждый двигатель, топливом может служить чистый спирт. Подобное направление получило особое широкое развитие в Бразилии. В этой стране принята специальная программа, по которой разрабатываются промышленные процессы производства этилового спирта из растительного сырья. Именно за счет этанола (его расчетная стоимость составит около 0,19 долл. за 1 литр) в Бразилии планируется уменьшить долю ввозимой нефти до 30 %.

Национальные программы типа «Топливо из биомассы», «Спиртовое топливо» существуют в США, Канаде, Финляндии, Индии и других странах. Помимо применения этанола в качестве топлива в таких программах разрабатываются способы его превращения в углеводороды — аналог бензина (эта идея реализуется и в Советском Союзе). В химической промышленности этанол применяется как исходный продукт органического синтеза, как растворитель, в производстве пластических масс, красителей, искусственного волокна, этилена, бутадиена и т. д.

В СССР основным направлением развития биотехнологии, связанным с ферментативной конверсией растительного сырья, будет, по-видимому, получение кормовых и пищевых продуктов. Для получения сахаристых веществ, скорее всего, наиболее перспективным является непищевое растительное сырье. Виды сырья могут быть различными в зависимости от требований и качеству конечного продукта и от того, какие отходы растительного сырья имеются в том или ином районе. Это могут быть отходы деревообрабатывающей и лесохимической промышленности, сбора и переработки хлопка и льна, отходы растениеводства, виноградарства, малоразложившийся торф и т. д. В недалеком будущем сырьем для биотехнологической переработки может стать древесина быстрорастущих деревьев — осины, тополя, эвкалипта, специально выращенных на плантациях.

В нашей стране существует много предпосылок для создания биотехнологии ферментативной конверсии целлюлозы и растительного сырья: выпускаются целлюлазные препараты (правда, они пока недостаточно активны), существуют технологии (или их модификации) предварительной обработки растительного сырья, различные способы варки древесины, способ обработки, с помощью которого удается повысить усвоение грубых кормов в животноводстве, эффективный метод парового взрыва; совместными усилиями исследователей Института биохимии им. А. Н. Баха и нашей кафедры создана пилотная установка — реактор колонного типа, в котором эффективно осуществляется непрерывный ферментативный гидролиз целлюлозы. Даже при не очень высокой активности целюлаз в ферментном препарате и при том, что целлюлозное сырье имело высокую степень кристалличности, производительность такого реактора составила 7—9 г глюкозы в час в литре гидролизата. По нашим расчетам, если целлюлоза будет полностью

аморфной (ее можно получить предварительной обработкой сырья), производительность должна возрасти до 12—15 г глюкозы, а при максимально плотной упаковке целлюлозы в реакторе — до 20 г. Таким образом, уже сейчас продуктивность ферментативного гидролиза растительного сырья не уступает эффективности кислотного гидролиза, но зато этот биологический метод лишен тех недостатков, которые присущи кислотному.

Итак, целлюлазы уже сейчас применяются для самых разных целей. С полным основанием можно утверждать, что еще большее применение они найдут в будущем, поскольку потенциальные возможности практического использования этих ферментов до конца не раскрыты. Поэтому изучением целлюлаз, созданием идеальных ферментных препаратов для гидролиза растительного сырья, разработкой новых технологических систем продолжают заниматься многие исследователи разных стран мира.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ХИМИЯ ДРЕВЕСИНЫ / Пер. с фин. под ред. М. А. Иванова. М.: Лесн. пром., 1982.

ЦЕЛЛЮЛОЗА И ЕЕ ПРОИЗВОДНЫЕ. В 2 т. / Ред. Н. Байклз, Л. Сегал. М.: Мир, 1974.

Клесов А. А. ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ КАТАЛИЗ. М.: Изд-во МГУ, 1984. Т. 2.

Лобанок А. Г., Бабицкая В. Г. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ БЕЛКА НА ЦЕЛЛЮЛОЗЕ. Минск: Наука и техника, 1976.

ЦЕЛЛЮЛАЗЫ МИКРООРГАНИЗМОВ / Ред. В. Л. Кретович. М.: Наука, 1981.

ИТОГИ НАУКИ И ТЕХНИКИ. Сер. Биотехнология. Т. 1. Биотехнология получения и трансформации топлив. М.: ВИНТИ, 1983.

Как научить машину «видеть», или Антропоморфная обработка изображений

В. М. Гинзбург



Вера Моисеевна Гинзбург, доктор технических наук, старший научный сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института оптико-физических измерений. Основные научные интересы связаны с антенной техникой, голографией, методами формирования и обработки оптических изображений. Автор нескольких монографий, в том числе: Голографические измерения (в соавторстве с Б. М. Степановым). М., 1981. В «Природе» опубликовала (совместно с Б. М. Степановым) статью: Голографические методы измерений (1983. № 12).

Ежедневно в различных сферах производственной деятельности и в быту нам приходится сталкиваться с необходимостью обработки оптических изображений в реальном времени, иными словами, с той скоростью, с которой это делает глаз. Такая обработка весьма важна при решении многих задач, которые можно разделить на две группы.

К первой относятся задачи обнаружения, в которых требуется установить наличие или отсутствие конкретного, заранее известного изображения, например радиолокационного сигнала на фоне шумов, портрета определенного человека среди набора портретов, отпечатка пальцев из множества отпечатков и т. д. Для решения задач этой группы нужно уметь отличать два сходных (однотипных) изображения по их мелким деталям (тонкой структуре), которые служат характерными «опознавательными признаками» искомого изображения.

Вторую группу составляют задачи распознавания или классификации, т. е. разделения множества различных изображений на подмножества, состоящие из сходных изображений. Каждому такому подмножеству приписывается определенный образ. Скажем, изображениям сосны, липы, дуба — образ «дерево», электрокардиограммам разных больных, страдающих оди-

наковой болезнью, — обобщенная ЭКГ для этого заболевания и т. п. Человек такую задачу решает произвольно, например, читая текст независимо от шрифта или почерка. При этом он как бы упрощает, или обобщает, изображение, лишает его индивидуальные черты (тонкой структуры) и выделяет признаки, общие для всех однотипных изображений, отнесенных к данному подмножеству.

Таким образом, при обнаружении и распознавании изображений их приходится подвергать преобразованиям, обеспечивающим выделение тех или иных характерных признаков. Наиболее простое и общепринятое из них — преобразование Фурье¹.

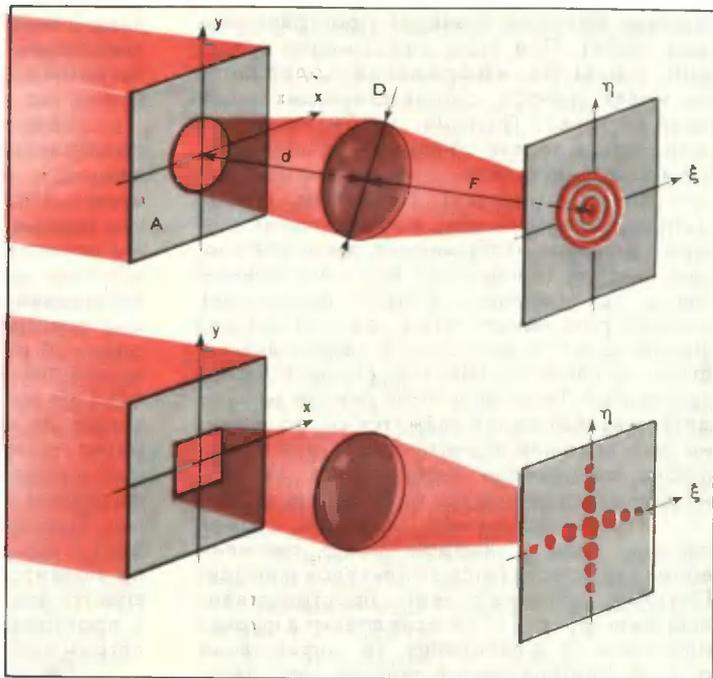
¹ Математически это преобразование записывается следующим образом:

$$H(\omega) = 1/\sqrt{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} h(x) \cdot e^{-i\omega x} dx$$

и связывает между собой функцию $h(x)$, заданную в пространстве (на множестве) независимой переменной x , с ее фурье-образом, или спектром, $H(\omega)$, определенным в пространстве ω . Чтобы по известному спектру H найти функцию, надо совершить обратное преобразование:

$$h(x) = 1/\sqrt{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega) \cdot e^{i\omega x} d\omega$$

Возникновение пространственного спектра в результате интерференции в плоскости Фурье круглой линзы. При установке в плоскости (x, y) на расстоянии d перед линзой диаметром D экрана A с круглым отверстием дифрагировавшие на его крае световые волны образуют в фокальной плоскости (ξ, η) на расстоянии F за линзой центральное светлое пятно (кружок Эйри) и вокруг него чередующиеся темные и светлые кольца (вверху). Такая же картина получается и без экрана, когда волны дифрагируют на краях линзы. Светлые участки соответствуют максимальной освещенности, наблюдающейся там, где волны имеют одинаковую фазу и складываются, иными словами, где разность их хода кратна длине волны. Если же разность хода составляет нечетное число полуволн, волны находятся в противофазе и вычитаются, так что освещенность соответствующих зон будет минимальной и они останутся темными. Для экрана с квадратным отверстием спектр имеет вид креста из кружков с постепенно уменьшающейся яркостью (внизу).



ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ СПЕКТР

Если на круглую линзу параллельно ее оси падает пучок монохроматического света, то после преломления не все лучи соберутся в фокусе линзы, как это предполагается в геометрической оптике. В задней фокальной плоскости линзы (ξ, η) — плоскости Фурье — образуется центральное яркое пятно (так называемый кружок Эйри), окруженное чередующимися темными и светлыми кольцами. Диаметр кружка Эйри равен $F\lambda/D$, где λ — длина световой волны, F и D — фокусное расстояние и диаметр линзы. Это явление объясняется дифракцией световых волн на краях линзы. Если же на пути пучка перед линзой дополнительно установить в произвольной плоскости (x, y) непрозрачный экран с квадратным отверстием, из-за дифракции на отверстии в плоскости Фурье вокруг кружка Эйри образуется своеобразный крест из таких же кружков, яркость которых при удалении от центра постепенно уменьшается.

Установим теперь перед линзой вместо экрана прозрачный носитель изображения — транспарант (скажем, диапозитив), вызывающий определенное распределение $f(x, y)$ поля световой волны. Соответствующее ему распределение $\tilde{f}(f_x, f_y)$, возникающее в плоскости Фурье при облучении но-

сителя изображения плоской световой волной², называется пространственным спектром этого изображения, а $f_x = \xi/\lambda F$ и $f_y = \eta/\lambda$ (F — пространственными частотами спектра).

Математическая связь между $\tilde{f}(f_x, f_y)$ и $f(x, y)$ описывается преобразованием Фурье. По известному пространственному спектру можно определить исходное изображение, выполнив обратное преобразование Фурье с помощью другой линзы, расположенной за фурье-плоскостью первой³.

Если изображение на транспаранте сложное, со множеством мелких деталей, его пространственный спектр тоже имеет сложный вид и занимает значительную область фурье-плоскости, иными словами, со-

² В плоской волне направление распространения одинаково в любой точке пространства. Простейший пример — однородная монохроматическая незатухающая плоская волна, распространяющаяся вдоль оси x :

$$U(x, t) = a \cdot e^{i(\omega t \pm kx)},$$

где a — амплитуда, $\varphi = \omega t \pm kx$ — фаза (знаки «+» и «-» отвечают двум возможным направлениям распространения), $\omega = 2\pi/T$ — круговая частота (T — период); $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число. Поверхности постоянной фазы (фазовые фронты) плоской волны — плоскости.

³ Подробнее об этом см., напр.: Стюарт И. Г. Введение в фурье-оптику. М., 1985.

держит большие значения пространственных частот. При этом информация о тонкой структуре изображения содержится на краях спектра, соответствующих высоким частотам. Поэтому, чтобы их лучше выделить, в задаче обнаружения целесообразно отфильтровать низкие частоты (те, что ближе к фокусу). Например, можно устранить светлый фон, «забивающий» тонкую структуру изображения, закрывая черной маской (фильтром) его центральную часть, где собираются лучи, прошедшие через транспарант почти без изменения направления. И наоборот, в задаче классификации следует «срезать» высокие частоты спектра. Тогда за второй линзой мелкие детали изображения окажутся смазанными, но зато похожие объекты будут иметь примерно одинаковые изображения, так как низкочастотные участки их спектров схожи.

Пространственные спектры комплексны, ведь в каждой точке световая волна характеризуется амплитудой и фазой. Поэтому, если изготовить пространственный фильтр, просто записав спектр в фурье-плоскости на фотопленку, то информация о фазе (определяемой положением деталей изображения на транспаранте) будет утрачена, ибо почернение фотозумльски зависит только от энергии излучения, или амплитуды волны, но не от фазы. Для сохранения же полной информации о пространственном спектре используют пространственные фильтры в виде его фурье-голограмм.

Если на фотопленку, помещенную в фурье-плоскости первой линзы, кроме регистрируемого пространственного спектра, под некоторым углом падает параллельный опорный пучок света от того же монохроматического источника, то благодаря их интерференции на фотопленке зафиксируется своеобразная дифракционная решетка из темных и светлых линий — фурье-голограмма.

Обычная дифракционная решетка, как известно, представляет собой периодическую структуру. При падении на нее под некоторым углом параллельного светового пучка, кроме пучка, прошедшего без отклонений, образуется еще ряд пучков, распространяющихся относительно нормали под углами θ_n , определяемыми из выражения

$$\sin \theta_n \approx n \cdot \lambda / b$$

(n — целое число, b — период решетки). Углы θ_n задают направления (их называют дифракционными порядками, или поряд-

ками спектра), в которых интерферирующие волны совпадают по фазе. Фурье-голограмма — это тоже дифракционная решетка, но в общем случае нерегулярная.

Уберем теперь транспарант и осветим полученную голограмму той же опорной волной, с помощью которой она записывалась. Тогда в ее дифракционных порядках (кроме θ_0) сформируется точно такой же пространственный спектр, что и в присутствии транспаранта, а за второй линзой восстановится голографическое изображение транспаранта. Если, наоборот, убрать опорный пучок и осветить транспарант, то в дифракционных порядках фурье-голограммы восстановится опорный пучок, который за второй линзой образует яркое пятно — так называемый автокорреляционный сигнал. Этот сигнал согласуется (коррелирует) с изображением на входе системы. Если же на входе установить транспарант с другим изображением, такое пятно не появится, поскольку пространственный спектр этого изображения не согласован с пространственным фильтром (фурье-голограммой для исходного изображения).

Обнаружить или классифицировать изображения с помощью преобразований Фурье можно, используя не только чисто оптические, но и гибридные оптоэлектронные системы, а также прибегая к соответствующей обработке на ЭВМ. Однако эта обработка сложна и требует значительной машинной памяти, а указанные системы содержат много пространственных фильтров, поэтому в последнее время ведутся интенсивные поиски более простых средств.

Обратимся, например, к классификации изображений и связанной с ней проблеме устранения высоких частот в их пространственных спектрах. Как справляется с этим человек? Ответить на вопрос можно, двигаясь одним из двух путей. Во-первых, рассматривая зрительную систему как своеобразный «черный ящик» и исследуя ее выходные характеристики в зависимости от сигнала на входе. При таком подходе пытаются найти алгоритм, описывающий функции этого «ящика», и реализовать его каким-либо способом. Во-вторых, изучая зрительную систему, чтобы понять механизм, осуществляющий искомые функции, и воплотить его в технике.

СПЕКТРАЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИЯ

Что же ждет нас на первом пути? Из экспериментов американских физиологов следует, что пространственно-частотная характеристика человеческого глаза

имеет максимумы в горизонтальной и вертикальной плоскостях, провалы в центре и диагональных плоскостях и спадает практически до нуля уже при сравнительно малых пространственных частотах⁴. Это означает, что глаз «срезает» как самые низкие (близкие к нулю и не несущие информации), так и довольно высокие (шумовые) частоты в пространственном спектре объектов, попадающих в поле зрения.

Исходя из этих данных, А. П. Гинсбург синтезировал на ЭВМ пространственный фильтр, имеющий вид транспаранта с нерезким изображением квадрата, диагонали которого направлены вдоль горизонтальной и вертикальной осей, и пропускающий свет точно так же, как и глаз⁵. Такой фильтр успешно использовался в оптической системе для выделения изображений на фоне помех. Подобные же фильтры применяются в радарх для распознавания объектов при интенсивных шумах⁶. Помогает здесь явление так называемого стереопсиса, заключающееся в своеобразном «обмане» стереоскопического зрения: если на одной из двух одинаковых картинок, расположенных в одной плоскости, часть изображения сдвинута как на сетчатке, то, глядя на них через обычное приспособление для просмотра диапозитивов со стереоскопическим эффектом, можно увидеть сдвинутую часть как бы висящей перед или за остальным фоном⁷.

Достижения на этом пути, т. е. эффективность фильтрации пространственных спектров в фурье-плоскости, способствовали рождению гипотезы о существовании в зрительной коре мозга набора фильтров пространственных частот, обеспечивающих многоканальную фильтрацию рассматриваемых изображений.

Такая концепция, получившая название спектральной, позволила понять суть многих явлений. Например, с ее помощью удается описать известную иллюзию Шахара, сводящуюся к тому, что, рассматривая решетку из взаимно перпендикулярных темных линий на светлом фоне, можно

увидеть слабые светлые диагональные линии. Если же решетка образована светлыми линиями на темном фоне, то диагональные линии кажутся темными. Для анализа этого эффекта на ЭВМ были выделены диагональные компоненты пространственного спектра такой решетки. Обратное преобразование Фурье полученного спектра дало объективную картину иллюзии. Этот, а также другие машинные и психофизические эксперименты подтвердили возможность объяснения оптических иллюзий спектральным преобразованием Фурье (либо ему подобным), выполняемым в зрительной системе человека.

Несмотря на стройность и успехи спектральной концепции в интерпретации ряда наблюдаемых явлений, все еще продолжается оживленная дискуссия, в ходе которой выявились противоречия этой концепции и предложены другие⁸.

По некоторым данным, те же результаты получаются, если воспользоваться разложением изображений на линейные элементы, например, с помощью найденных в зрительной коре Д. Хьюбелем и Т. Визелем (лауреатами Нобелевской премии по медицине за 1981 г.) сложных клеток — детекторов, реагирующих на изображения вытянутой формы⁹.

Кроме того, против спектральной концепции выдвигается следующее возражение: во всех исследованиях с использованием фурье-преобразований пространственный фильтр строится как фильтр интенсивности. Между тем ряд результатов, полученных физиологами, находит объяснение только при учете фаз в спектре. Наконец, как отмечается в одной из последних монографий на эту тему, не исключено, что в нейронных структурах нет единого универсального способа переработки зрительной информации, поэтому представления о пространственно-частотных фильтрах и детекторах должны не конкурировать, а дополнять друг друга¹⁰.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПОДХОД

Попробуем теперь пройти по другому пути. Независимо от справедливости той или иной концепции, из физиологических

⁴ Campbell F. W. et al // J. Physiol. 1966. Vol. 187. №2. P. 427—438; Campbell F. W., Weistheimer G. // Physiology (Eng.). 1960. Vol. 151. №2. P. 285—296.

⁵ Ginsburg A. P. Pattern Recognition Technique Suggested from Psychological Correlates of a Model of the Human Visual System // NAECON 73 Record. L., 1970. P. 309—322.

⁶ См. об этом, напр.: Thomas D. J. et al // JEE Conf. Publ. 1977. № 150. P. 90—93.

⁷ Поджио Т. // В мире науки. 1984. № 6. С. 58—69.

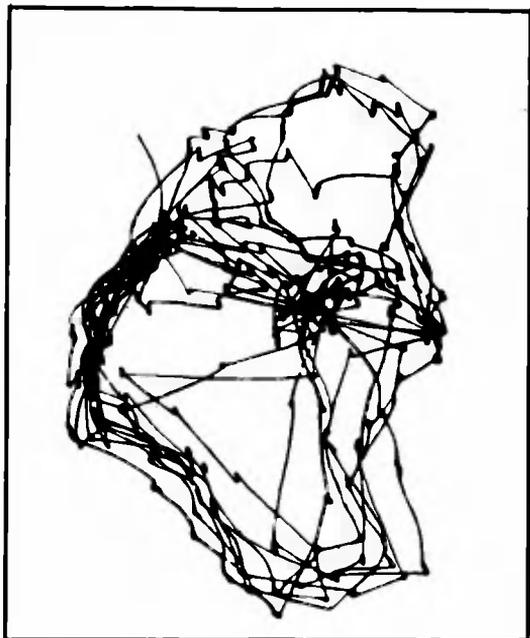
⁸ Об отдельных аспектах этой дискуссии см.: Science. 1977. Vol. 198. P. 960—965.

⁹ См., напр.: Соколов Е. Н. Лауреаты Нобелевской премии 1981 года. По медицине — Р. Сперри, Д. Хьюбелл, Т. Визел // Природа. 1982. № 1. С. 105—107.

¹⁰ Дудкин К. Н. Зрительное восприятие и память. Л., 1985.



«Классический» пример, демонстрирующий саккадические скачки глаза при подробном рассмотрении изображения. Регистрация точек, характеризующих направление взгляда смотрящего, проводилась в течение двух минут с помощью специального зеркала, прикрепленного к хрусталику. Соседние точки соединены между собой отрезками прямых, длина которых определяется величиной скачка. Как отчетливо видно, скопления точек отмечают основные информативные фрагменты изображения. Интересно, что у различных людей полученные в результате такой регистрации «картины» разнятся весьма незначительно.



и психофизических экспериментов следует, что в зрительной системе проецируемые на сетчатку изображения предварительно обрабатываются. Это облегчает их распознавание и принятие решения о соответствующих действиях. Такой обработке подвергаются изображения, проецируемые на так называемую фовеальную (от лат. *fovea* — яма) область сетчатки — сравнительно небольшую ее центральную часть, предназначенную для детального разглядывания объекта, обычно следующего за его опознанием. С этой целью поочередно рассматриваются отдельные информативные фрагменты изображения (например, те участки, где резко изгибается его контур). Фовеальная область сетчатки ориентируется на эти фрагменты в результате саккадических (скачкообразных) движений глаза¹¹.

Как же глаз «узнает», куда направить

взгляд? В поисках ответа обратимся к известному фотолюбителю факту: если слегка расфокусировать фотоаппарат, наведенный, предположим, на дерево (особенно отчетливо это проявляется, когда на нем нет листвы), места, где соединяются ветки, темнеют. Иными словами, расфокусировка при естественном освещении сопровождается выделением информативных фрагментов изображения и, стало быть, резким сужением его пространственного спектра. В чем же тут дело?

А все дело в том, что живем-то мы на «белом свете» и наш глаз приспособлен к рассеянному в окружающей среде солнечному излучению, содержащему все цвета радуги. Вместе с тем глаз — это совершенная оптическая система с линзой регулируемого профиля, размеров и коэффициента преломления, а также с «регистратором» — сетчаткой. Если сторонники спектральной концепции правы и распознавание изображений производится после фильтрации их пространственных частот, то возникает вопрос, как предварительно преобразуется проецируемое на сетчатку «белое» изображение? Другими словами, каков механизм, позволяющий получить пространственно-частотные характеристики глаза, определенные физиологами?

¹¹ См., напр.: Кузин В. С. Психология. М., 1982.

Из школьного курса оптики известно, что в резком (сфокусированном) изображении каждой точке объекта (транспаранта) соответствует точка изображения. Для фокусировки необходимо, чтобы расстояния от объекта до линзы x и от линзы до экрана d удовлетворяли уравнению

$$1/x + 1/d = 1/f.$$

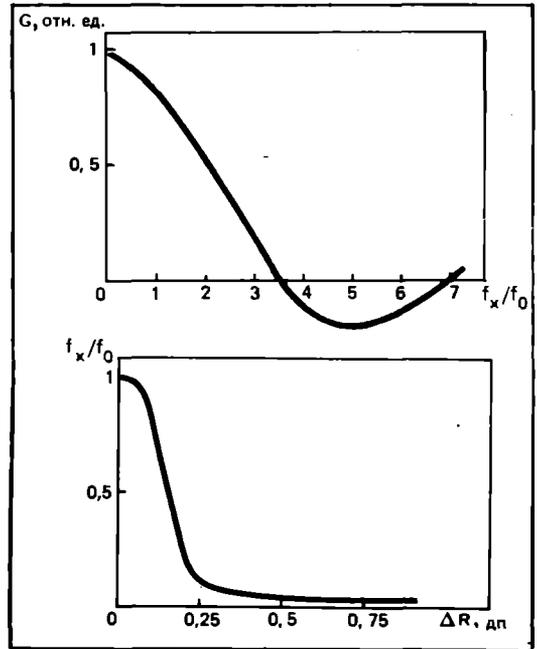
Иначе изображение на экране становится нерезким (расфокусированным) и при приближении экрана к фокусу превращается в пространственный спектр, совсем не похожий на объект. Когда объект освещается белым светом, в этом спектре фигурируют интенсивности (квадраты амплитуд) волн с разными частотами и отсутствует информация об их фазах, так как при суммировании таких волн фазы усредняются. Для точечного источника белого света пространственный спектр $G(f_x, f_y)$ называется оптической передаточной функцией линзы, а спектр формируемого ею изображения произвольного объекта имеет вид:

$$G_i = G_q \cdot G$$

(G_q — пространственный спектр объекта). Зная G и G_q и применив обратное преобразование Фурье к спектру G_i , можно рассчитать изображение объекта в оптической системе с двумя линзами.

Как отмечалось, расфокусировка изображения способствует выделению в нем своеобразных информативных фрагментов и как бы обобщает его, «смазывая» детали. Может ли осуществляться такая предварительная обработка в зрительной системе человека? Американские физиологи установили, что хрусталик все время движется, меняя свое фокусное расстояние. В единицах оптической силы (величины, обратной фокусному расстоянию), принятых для измерения коррекции зрения, это изменение достигает 0,2—0,25 диоптрий (1 дп = 1 м⁻¹), что вполне достаточно для «подчеркивания» информативных фрагментов. Иными словами, глаз может выделять эти фрагменты между саккадическими скачками. Известно также, что в многослойной сетчатке число каналов, по которым передается информация, на пути от рецепторов до зрительного нерва уменьшается в среднем в сто раз¹².

Сужение пространственного спектра, пропускаемого глазом, при расфокусиров-

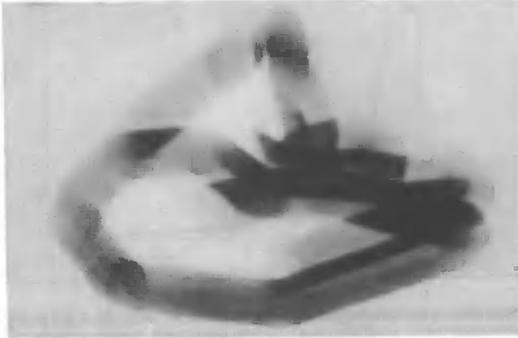
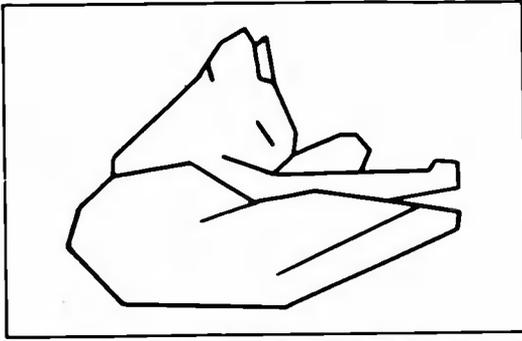


Оптическая передаточная функция G (цветная кривая) и изменение максимальной пропускаемой пространственной частоты f_x/f_0 (черная кривая) при расфокусировке линзы. Без расфокусировки функция G монотонно падает с ростом пространственной частоты и обращается в нуль при $f_x = f_y = D/2f_\lambda$, так что максимальная пространственная частота f_0 , пропускаемая линзой, соответствует значениям координат ξ и η в Фурье-плоскости, равным $D/2$. Расфокусировка влечет за собой немонотонность оптической передаточной функции, у нее появляются отрицательные значения (им соответствуют провалы яркости расфокусированного изображения), а также значительно уменьшает максимальную пропускаемую частоту f_x .

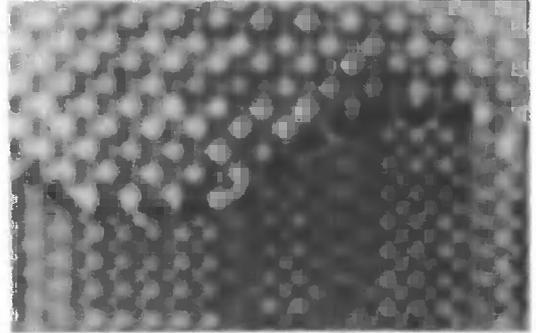
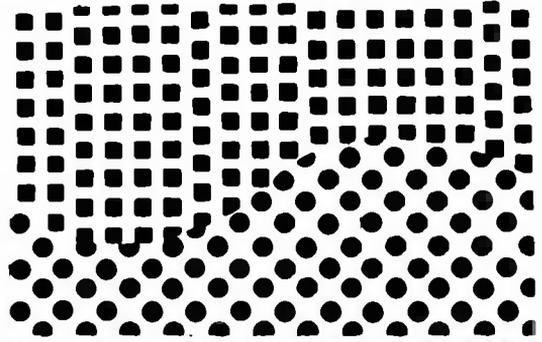
ке оценивалось с использованием так называемой унифицированной модели глаза¹³. При точной фокусировке и отсутствии aberrаций максимальная пропускаемая пространственная частота f_0 примерно равна 200 мм⁻¹. Чтобы пропустить эту частоту, на сетчатке должно быть не меньше $2f_0 \approx 400$ рецепторов (колбочек) на 1 мм с угловым разрешением 25—30". В фoveальной области каждая колбочка соединена с отдельной ганглиозной клеткой (их слой — последний в сетчатке перед зрительным нервом), аксон которой переходит непосредственно в зрительный нерв, связывающий сетчатку с высшими (мозговыми)

¹² Физиология сенсорных систем. Ч. I. Физиология зрения / Под ред. Г. В. Гершуни. Л., 1971.

¹³ Гинзбург В. М., Левин Г. Г., Метелкин А. Н. // Докл. АН СССР. 1974. Т. 219. № 3. С. 734—737.



Трансформация изображения при расфокусировке. В местах резких изгибов контура объекта на расфокусированном изображении выделяются информативные фрагменты в виде более темных пятен. Детали же объекта при этом стираются [изображение кошки «обобщается»].



Пример более отчетливого проявления границы между участками с различной тонкой структурой при расфокусировке изображения.

отделами зрительного анализатора. Следовательно, в этой области изображение не расфокусировано. Однако она занимает незначительную часть сетчатки, в других же частях одна ганглиозная клетка «обслуживает» множество рецепторов, так что там расфокусировка может иметь место.

Как следует из анализа оптической передаточной функции, для сужения спектра пространственных частот примерно в сто раз необходимо расфокусировать глаз на 0,25 дп, т. е. на указанную выше величину, установленную в физиологических экспериментах.

Все это позволяет предположить, что у человека и высших животных при начальной обработке зрительной информации используется расфокусировка хрусталика относительно сетчатки, выделяющая информативные фрагменты изображений для управления саккадическими скачками глаза и предварительного обобщения анализируемого изображения.

Но справедлив ли этот вывод, относящийся к контурным изображениям, для реальных изображений с разной внутрен-

ней тонкой структурой (например, фотографий участков земной поверхности с различной растительностью)?

В живых организмах границы между областями изображения с разной структурой устанавливаются автоматически. В ряде опытов обнаружены особые рецепторы в зрительной коре мозга, реагирующие на изображения с определенной пространственной частотой. Как считают сторонники спектральной концепции, из этих опытов следует, что такие рецепторы служат своеобразными фильтрами, выделяющими границы изображения за счет различия пространственных частот по обе стороны от границы. Однако это противоречит психофизическим экспериментам, в которых установлено, что на опознание изображения его внутренняя структура не влияет. Независимо от этой структуры, «смазываемой» при расфокусировке, отчетливо выделяется граница между участками с различной структурой. Расфокусировка «подчеркивает» не только границы между областями изображения с различной структурой, но и нерегулярности самой структуры.

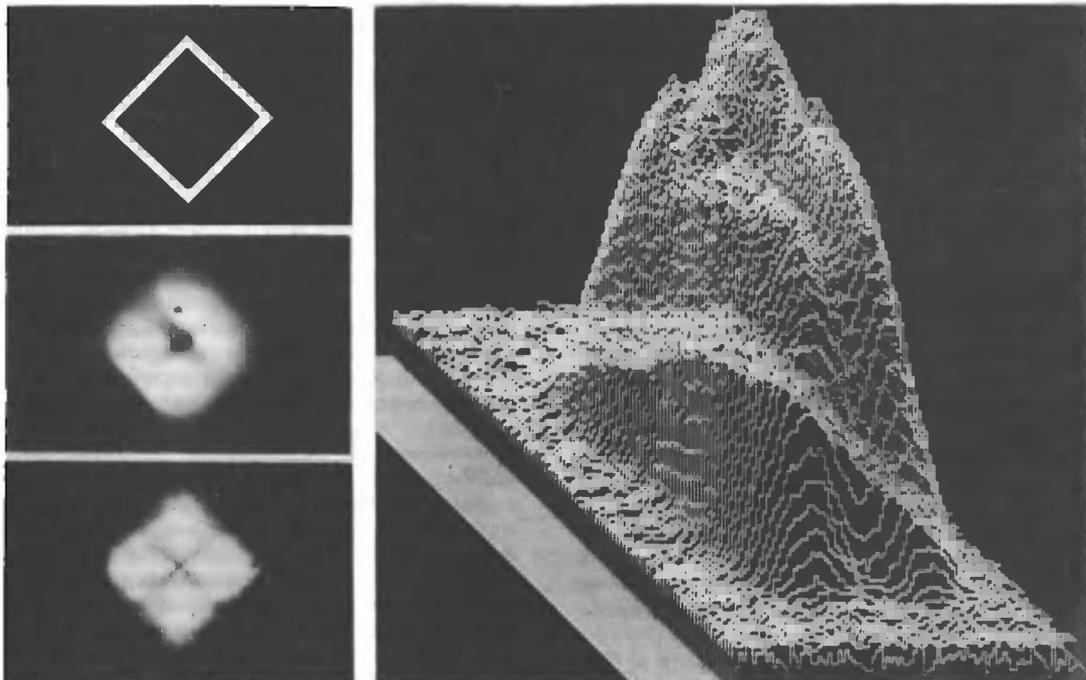


Иллюстрация сложности результатов спектральной концепции и гипотезы «расфокусировки». Четкое изображение (слева вверху) квадрата с диагоналями, направленными вдоль горизонтальной и вертикальной осей, расфокусировалось на 0,2 дп (средняя расфокусировка хрусталика человеческого глаза). Полученный в итоге транспарант (в центре) и фильтр А. П. Гинсбурга (внизу), синтезированный на ЭВМ в результате решения обратной задачи, обладают схожими функциями пропускания, одна из которых (относящаяся к расфокусированному квадрату) изображена на рисунке справа. Эти функции воспроизводят пространственно-частотную характеристику глаза, иными словами, трансформируют проецируемое изображение так же, как и глаз.

Определив границу, дальнейшую обработку изображения (выделение информативных фрагментов) можно производить так же, как и для контурных графических изображений.

Таким образом, вполне правдоподобно выглядит предположение о том, что в зрительных анализаторах живых организмов «мгновенное» выделение границы изображения может осуществляться непосредственно на сетчатке за счет расфокусировки хрусталика. При этом теряется информация о тонкой структуре изображения, которая, по всей вероятности, не влияет на определение его границы. Вышеупомянутые же рецепторы в зрительной коре предназначены, по-видимому, не для выделения границ изображения, а для

выявления его отличительных признаков при детальном рассмотрении (уже без расфокусировки) после опознания.

Какова же связь описанной гипотезы «расфокусировки хрусталика для первичной обработки изображения» со спектральной концепцией?

Прежде всего отметим, что по-разному объясняя преобразование изображений, обе концепции приводят к одинаковому выводу: для обобщения и распознавания изображений в зрительной системе необходимо сужение их пространственного спектра. Подтверждением того, что оба подхода дают сходные результаты, стал и следующий эксперимент. Изображение квадрата, ориентированного, аналогично вышеупомянутому фильтру А. П. Гинсбурга, расфокусировалось на 0,2 дп (что соответствовало средней расфокусировке глаза). В итоге благодаря выделению информативных фрагментов в его углах был получен транспарант, функция пропускания которого, как и у фильтра А. П. Гинсбурга, практически совпадает с пространственно-частотной характеристикой глаза.

Итак, необходимого сужения пространственного спектра, по-видимому, удается добиться на начальном этапе обработки изображения простой расфокусировкой хрусталика, без участия высших отделов зрительного анализатора, куда может пере-

даваться уже «отфильтрованное» изображение (обобщенный образ).

Что же касается дальнейшей обработки изображения в зрительной системе, сегодня трудно отдать предпочтение какому-либо одному определенному механизму. Не исключено, что принцип дополнительности, подобный введенному Н. Бором для квантовой механики, справедлив не только в психологии, но и в физиологии¹⁴.

В технике распознающие системы с расфокусировкой изображений представляются весьма перспективными. На входе таких систем расфокусированные (в белом свете) изображения объектов записываются на прозрачные носители. Для этого используются действующие в реальном времени (почти безынерционно) оптические преобразователи, например жидкие кристаллы, различные нелинейные среды и т. д.¹⁵ Полученные таким образом транспаранты служат фильтрами, сужающими пространственный спектр анализируемых изображений. Об одном из вариантов технического воплощения этого принципа рассказывается ниже.

«АЗБУКА» ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В технических устройствах для обработки сложных оптических изображений нужно очень много пространственных фильтров. Уменьшить их число уже давно пытаются, разлагая сложные изображения на более простые. Для этого пользуются, в частности, так называемыми разложениями Уолша и Гильберта, в которых изображения строятся из черных и белых клеток различной величины¹⁶. Но ни эти, ни другие разложения не применялись ранее непосредственно для получения обобщенного изображения (образа). Между тем различные математические методы представления и обобщения оптических изображений достаточно подробно освещены в литературе по распознаванию образов с помощью ЭВМ¹⁷. Однако эти методы требуют сложной обработки вводимых в ЭВМ изобра-

ражений по специальным алгоритмам, решающим, как правило, частные задачи.

Значительный выигрыш может дать представление изображений в виде структур, составленных из геометрических фигур, описываемых простейшими (опорными) аналитическими функциями¹⁸. При этом изображение описывается логическим произведением или суммой опорных функций, равных единице внутри фигуры и нулю снаружи. Впрочем, такой подход не избавляет полностью от предварительной обработки изображений: необходим оптимальный выбор опорных функций, составление из них «выражения», воспроизводящего данное изображение, разработка соответствующего алгоритма и его реализация на ЭВМ.

Автором развит заметно облегчающий обработку вариант упомянутого подхода, в котором в качестве структурных единиц взяты элементарные геометрические фигуры: полоса и круг. Как известно из физиологических экспериментов, в зрительном анализаторе высокоразвитых живых существ имеются специальные детекторы, вырабатывающие определенные нервные импульсы при виде этих фигур. Поэтому соответствующие им опорные функции и названы генетическими.

Из таких фигур с помощью перечисленных логических операций легко получить другие геометрические фигуры: отрезок полосы — произведение двух ортогональных полос; угол и перекрестие — сумма отрезков; кольцо — круг большего радиуса, из которого удален круг меньшего радиуса с тем же центром; дуга — произведение кольца и угла и т. д.

Эти фигуры без труда распознаются людьми, а также некоторыми другими живыми существами (дельфинами, собаками) и образуют своеобразную азбуку, позволяющую строить практически любое изображение.

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Можно ли автоматически делить произвольное изображение на участки, описываемые генетическими функциями, и, представляя его в виде логического выражения из «букв геометрической азбуки», получить некоторое обобщенное или стилизованное изображение, адекватное исходному? Мы, не отдавая себе в этом отчете-

¹⁴ Фейгенберг Н. М. Принцип дополнительности в описании психических явлений // Природа. 1985. № 2. С. 94—101.

¹⁵ Сонин А. С. Кентавры природы. М., 1980; Casasent D., Caimi F., Khomeiko A. // Appl. Optics. 1981. Vol. 20. № 24. P. 4215—4220.

¹⁶ См., напр.: Сороко Л. М. Основы голографии и когерентной оптики. М., 1971.

¹⁷ См., напр.: Вархаген К., Дейн Р., Грун Ф. и др. Распознавание образов. Состояние и перспективы. М., 1985.

¹⁸ Рвачев В. Л., Слесаренко А. П. Алгебра логики и интегральные преобразования в краевых задачах. Киев, 1976.

та, ежедневно сталкиваемся с такого рода проблемами, печатая текст рукописи либо рисуя стилизованное изображение (образ) объекта с натуры или по его копии.

В технике ответить на этот вопрос помог бы предложенный автором голографический автомат (робот), в котором пространственные фильтры строятся из расфокусированных геометрических «букв» и применяется быстрое сканирование (подобное саккадическим движениям глаза) между информативными фрагментами, выделенными в результате расфокусировки анализируемого изображения¹⁹. Учитывая характеристики отдельных элементов схемы, следует ожидать, что инерционность такого автомата вскоре окажется сравнимой с инерционностью глаза, и он станет полезным для моделирования зрительной системы человека и проведения различных физиологических и психофизиологических исследований.

Такой автомат, конечно, — не единственный для распознавания образов с помощью расфокусировки изображений. Скажем, для автоматической пишущей машинки эффективны пространственные фильтры, формирующие образы букв алфавита, усредненные по многим расфокусированным изображениям рукописных букв. Записывая (с теми же фильтрами) спектры четких изображений соответствующих печатных букв, получим на выходе печатный текст, соответствующий рукописному. Правда, при этом требуется довольно много пространственных фильтров. Кроме того, подобная пишущая машинка недостаточно универсальна для обработки различных изображений. В автомате же с геометрической «азбукой» практически любое изображение составляется из малого (не более 10) числа элементов.

Впрочем, для создания подобного автомата необходимо преодолеть ряд трудностей. Нужны совершенно новые схемы, синтезирующие генетические функции и «рисующие» соответствующие им «буквы» в отображающем устройстве на строго определенных местах, в требуемом масштабе, с правильной ориентацией и т. д. Не удалось пока разработать и пространственные фильтры для расфокусированных изображений производных от круга структур-

ных элементов (кольцо, овал), лишенных изломов, а также выделить их информативные фрагменты, как у элементов, состоящих из ломаных линий.

Отметим, что воссоздание стилизованных образов по информативным фрагментам истинных изображений, напоминает распознавание образов человеком, а также приемы художников, особенно карикатуристов. Любопытно, что и маленькие дети, как правило, рисуют человека, прикрепляя конечности непосредственно к голове и игнорируя туловище²⁰. Дело в том, что, по данным физиологов, в мозг передается не точная копия рассматриваемого объекта, а его идеализированный аналог или код. Возможно, это объясняется расфокусировкой хрусталика, выделяющей информативные фрагменты изображения уже на сетчатке, и передачей в высшие отделы зрительного анализатора обобщенного образа.

Автоматическое выделение с помощью расфокусировки участков изображений, несущих основную информацию об объекте, допускает и другие применения — например, для создания узкополосной телевизионной системы, сулящей большие преимущества, в частности, при передаче изображений со спутников или телевизионных сигналов по радиоканалам. В отличие от известных способов сужения полосы пропускания за счет замедленной передачи всего изображения, в такой системе замедляется только передача отдельных его участков — своеобразных информативных фрагментов. Как правило, их суммарная площадь значительно меньше всего кадра, так что при этом сужение полосы пропускания почти не сказывается на скорости передачи изображений.

Тот же метод пригоден для ввода изображений в ЭВМ. В этом случае расфокусировка помогает выделить изображение на фоне шумов (скажем, интерференционные линии на интерферограммах) и определить его информативные фрагменты.

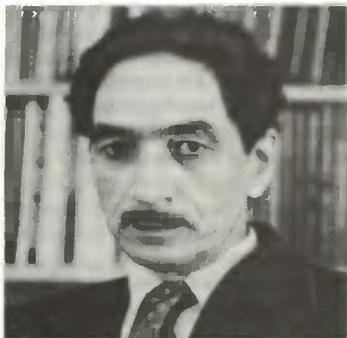
В заключение остается выразить надежду на то, что дальнейшее изучение зрительных систем живых организмов обогатит технику формирования и обработки изображений, а развитие техники, в свою очередь, облегчит понимание механизмов зрения в природе.

¹⁹ Гинзбург В. М., Степанов Б. М. Голографические измерения. М., 1981; Ginzburg V. M. // Opt. Communications. 1981. Vol. 36. № 4. P. 258—260; Ginzburg V. M. // Opt. Communications. 1981. Vol. 40. № 1. P. 15—18.

²⁰ Как ребенок рисует человека // Природа. 1984. № 7. С. 112.

Геология Венеры

В. Л. Барсуков, А. Т. Базилевский



Валерий Леонидович Барсуков, член-корреспондент АН СССР, директор Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР, вице-президент Международного союза геологических наук. Специалист в области космохимии, геохимии океана, геологии и геохимии рудных месторождений. Лауреат Государственной премии СССР. Неоднократно печатался в «Природе».



Александр Тихонович Базилевский, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией сравнительной планетологии и метеоритики того же института. Занимается планетологией и геохимией. В «Природе» опубликовал статьи: Шаги сравнительной планетологии (1977, № 3); Метеоритные кратеры (в соавторстве с Б. А. Ивановым; 1985, № 10).

Хотя геологам, как впрочем и другим землянам, пока не приходилось бывать на Венере, уже не вызывает удивления, что сегодня можно составить представление не только о поверхности, но и о составе пород этой планеты и процессах, идущих в ее недрах. Другими словами, складывается отрасль естествознания, которую мы по земной привычке называем геологией Венеры.

В течение нескольких столетий Венеру исследовали астрономы, а в наши дни она стала объектом интенсивного изучения с помощью космических аппаратов. Причина пристального внимания к Венере — не только ее близость к Земле, но и сходство ее массы и размеров, а значит и средней плотности вещества, и,

вероятно, химического состава, с земными. Если вспомнить, что еще в XVIII в. М. В. Ломоносов открыл атмосферу этой планеты, а впоследствии выяснилось, что на Венере имеется и облачный покров, то становится понятным, почему Венеру часто называют сестрой Земли. Еще недавно казалось, что на Венере все должно быть похоже на Землю: поверхность, геологические процессы и геологическое развитие и даже, как надеялись некоторые, история зарождения и эволюция жизни. Однако за последние 20 лет выяснилось, что условия на поверхности резко отличны от земных: температура поверхности близка к 500 °С, атмосферное давление около 100 атм, атмосфера не кислородно-азотная, как на Земле, а в основном угле-



Равнина Седны. Размер территории 1500×1500 км. Стрелками показаны радиояркие лавовые потоки причудливой формы. Здесь и далее фрагменты изображений, полученных в Институте радиотехники и электроники АН СССР при обработке результатов радиолокационной съемки с аппаратов «Венера-15 и -16».

кислая, и облака не из водяных капель, а из капель концентрированной серной кислоты. Стало ясно, что о жизни, по крайней мере, на поверхности Венеры, говорить не приходится. Прояснился и механизм разогрева атмосферы и поверхности Венеры — парниковый эффект, связанный с тем, что углекислая атмосфера этой планеты пропускает к поверхности нагревающие ее солнечные лучи, но задерживает обратный поток теплового излучения. Но когда на Венере «заработал» парниковый эффект и всегда ли условия на ней, были столь отличны от земных? Существовало ли когда-нибудь на Венере влажное и жаркое царство древовидных папоротников и рептилий, красочно описан-

ное фантастами? Ответы на эти вопросы — в геологической летописи Венеры.

Но геология Венеры интересна не только с точки зрения прошлого и будущего этой планеты. Она может пролить свет и на эволюцию Земли. Венера как планета, одновременно похожая на Землю по одним параметрам и резко отличная по другим, представляет собой важное звено в сравнительно-планетологическом анализе.

Итак, нам нужно составить представление о геологическом строении Венеры. Но как это сделать, если геологических исследований в традиционном смысле на Венере не проводили и вряд ли когда-то удастся их провести из-за суровых условий на ее поверхности. Остается путь геолого-морфологического анализа, т. е. анализа характера рельефа (морфологии), по которому можно сделать выводы о геологическом строении местности. Например, на снимках, сделанных с высоты, безошибочно узнаются вулканические постройки



Ландшафт места посадки «Венеры-13». Фрагмент фототелевизионной панорамы. Расстояние между зубцами на кольцевой опоре аппарата 5 см. Виден темный рыхлый грунт с обломками слонистых горных пород, выступающих на поверхность.

и потоки лавы, поля песчаных дюн, речные долины, тектонические разломы. С меньшей уверенностью можно выделить осадочные породы (они похожи на слои вулканических пеллов) и некоторые другие формы. Кстати сказать, к морфологическому методу сейчас все чаще прибегают геологи и на Земле, составляя по снимкам из космоса и аэрофотоснимкам предварительную геологическую карту, которую затем проверяют и уточняют на месте. В исследованиях планет геолого-морфологический анализ впервые был успешно применен при изучении Луны.

СЪЕМКИ ПОВЕРХНОСТИ ВЕНЕРЫ

К концу 70-х годов при радиолокации с Земли американцам удалось получить изображение небольшой части поверхности Венеры, на которой различали объекты протяженностью в несколько десятков километров. Однако первое общее представление о рельефе Венеры дала съемка почти всей планеты (кроме ее полярных областей) американским космическим аппаратом «Пионер-Венера». С ее помощью удалось установить, что на поверхности Венеры преобладают равнины, уровень которых близок к среднему значению радиуса этой планеты. Было высказано предположение, что, по крайней мере, часть равнин имеет вулканическую природу. Кроме них были обнаружены две обширные горные области размером с земные Африку и Австралию, возвышающиеся над равнинами в среднем на 4—5 км и названные, соответственно, Земля Афродиты и Земля Иштар. Природа этих возвышенностей тог-

да оставалась неизвестной. Некоторые возвышенности меньшего размера (например, область Бета) были отнесены к вулканическим образованиям.

Более надежную геологическую интерпретацию позволили сделать съемки с советских автоматических аппаратов «Венера-15 и -16», посланных к Венере в 1983 г. Они стали искусственными спутниками Венеры и в течение восьми месяцев вели радиолокационную съемку ее Северного полушария, севернее широты 30°. Она охватила около 115 млн км², или 1/4 поверхности все планеты. Аппаратура для съемки включала в себя радиолокатор бокового обзора, способный получать такие изображения поверхности, на которых различают объекты протяженностью 1—2 км, радиовысотомер с 50-метровой точностью определения средней высоты в «пятне» диаметром 40—50 км и радиометры, регистрировавшие собственное радиоизлучение поверхности Венеры.

Комплекс бортовых приборов и специальной наземной аппаратуры для обработки получаемой информации был создан в результате творческого сотрудничества коллективов Института радиотехники и электроники АН СССР и Московского энергетического института. Для геолого-структурной и геохимической интерпретации получаемых данных при Отделении геологии, геофизики и геохимии АН СССР была создана рабочая группа, в состав которой вошли сотрудники Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР, Геологического института АН СССР и Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Результаты этих исследований уже публиковались и продолжают публиковаться в научной печати. В этой статье мы попытаемся дать популярное изложение некоторых наиболее интересных результатов.

Орбиты, с которых велась съемка, были эллиптическими, близкими к полярным, с периодом обращения около 24 ч и положением перигея (ближайшей к поверхности точки орбиты) около 62° с. ш. В процессе съемки высотомер «смотрел» вертикально вниз, а радиолокатор бокового обзора на 10° вправо от траектории полета. Съемка на каждом рабочем витке орбиты начиналась в районе Северного полюса планеты и продолжалась к югу до 30—35° с. ш. При каждом таком пролете получалась полоса радиолокационного изображения в масштабе 1:4 000 000 шириной на местности около 160 км и длиной 7000—8000 км. На первом этапе обработки полосы



Пояса гряд [1] и борозд [2] на поверхности равнины Берегини. Размер территории 1500×1500 км. К юго-западу гряды сменяются странными «паукообразными» структурами, вероятно, вулкано-тектонического происхождения.

соединяли друг с другом в монтажи вручную, а затем с помощью ЭВМ.

В зону съемки полностью вошла горная система Земли Иштар с самыми высокими на Венере горами Максвелла, ряд возвышенностей меньшего размера, в том числе и уже упоминавшаяся возвышенность области Бета, и ряд равнинных областей, включая самую низкую на Венере равнину Аталанты. При анализе полученных изображений оказалось, что равнины в зоне съемки, как и на Венере в целом, преобладают. Как правило, их уровень близок к среднему уровню поверхности планеты или несколько ниже его. Лишь плато Лакшми на западе Земли Иштар приподнято на 3—4 км над средним уровнем планеты.

РАВНИНЫ

На поверхности равнин нередко видны протяженные (длиной до 200—300 км) «радиояркие», т. е. более светлые на радиолокационных изображениях, образования, напоминающие потоки базальтовых лав на Земле, Луне и Марсе. Иногда они начинаются от округлых впадин типа вулканических кратеров и кальдер или от разломов. Несомненно, что эти формы представляют собой застывшие потоки базальтовых лав. Их повышенная радиояркость связана с типичной для большинства свежих лав сильной шероховатостью их поверхности. И действительно, измерения на спускаемых аппаратах автоматических станций «Венера-10, -14» и «Vega-1, -2», которые совершили посадку на равнинах Венеры за пределами зоны съемки, показали, что в этих местах породы поверхности равнин близки по химическому составу к земным основным магматическим породам нормальной щел-



Венец Анахит диаметром около 400 км на равнине Снегурочки (1). Справа от венца Анахит радиояркие лавовые потоки (2), слева — ударный кратер Вальбор диаметром около 20 км (3). В левой части снимка — частично перекрытый лавами венец Бачу (4).

лочности — габбро или базальтам. Вероятно, лавы базальтового состава — это главный материал, из которого образовались равнины на Венере, хотя некоторую роль здесь, может быть, играет ветровое отложение вулканического пепла или песчано-пылевых продуктов разрушения ранее образованных пород. Мы видим такой мелкообломочный материал на телевизионных панорамах окрестностей мест посадки автоматических станций «Венера-9, -10, -13 и -14» то в виде рыхлого темного грунта, то в виде горизонтально-слоистых пористых пород.

Но не всегда породы равнин Венеры по составу соответствуют обычным земным базальтам. В местах посадки «Венеры-8 и -13» на равнинах Венеры (за пределами радиолокационной съемки) материал поверхности напоминает довольно редкие щелочные породы Земли — щелочные базальтоиды или сиениты. Пока неясно, какие геологические образования сложены этим веществом.

На поверхности равнин иногда встречаются «небольшие», диаметром в несколько километров, холмы куполовидной формы, нередко с кратером на вершине, а также протяженные пояса гряд и борозд длиной до нескольких тысяч километров и шириной до 100—200 км.

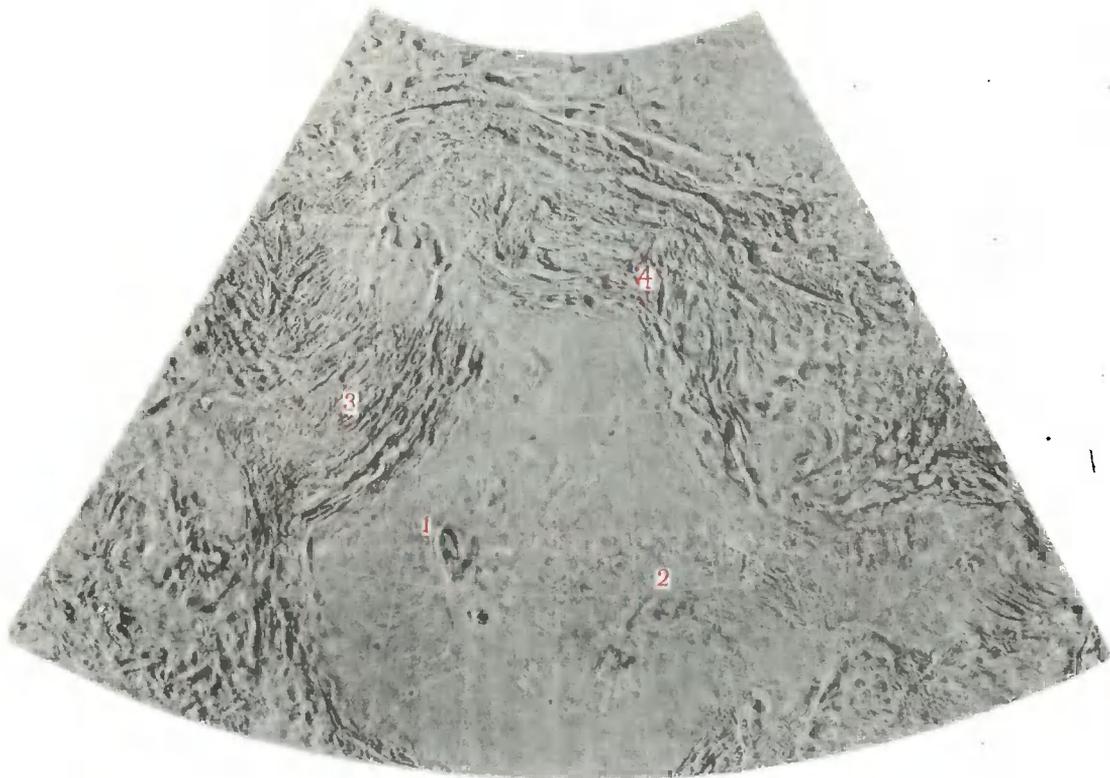
На равнинах вокруг Земли Иштар обнаружены настолько необычные кольцевые образования, что в системе планетной но-

менклатуры им не нашлось названия. Им пришлось дать термин «венцы». По своему структурному рисунку венцы Венеры похожи на тектонические структуры овальной формы, характерные для областей развития древнейших пород Земли. Каждый венец образован концентрической кольцевой системой горных гряд, внутри которой расположена область «хаотического» рельефа. Размеры этих структур огромны — от 200 до 600 км в диаметре. На равнинной поверхности вокруг венцов нередко видны тяготеющие к ним системы радиоярких лавовых потоков. Эти структуры, по видимому, образовались над участками, где поднимался более горячий, чем на соседних участках, материал из недр, вызывая деформации пород, выходящих на поверхность, и вулканические излияния. Не исключено также, что образование этих горячих участков было некогда спровоцировано ударами очень крупных метеоритов.

ГОРЫ

Горы в зоне съемки «Венеры-15 и -16» — это, прежде всего, горная система Земли Иштар. Ее протяженность 7000 км с запада на восток и 3000 км с севера на юг. В западной части Земли Иштар расположено плато Лакшми. На его поверхности, возвышающейся над прилегающей с юга равниной Седны на 3—4 км, выделяются две большие овальные впадины — Колетт (80×120 км) и Сакаджавея (100×200 км), напоминающие некоторые вулканические кальдеры Марса. Вокруг депрессии Колетт, которая, очевидно, образована позднее, чем Сакаджавея, видна система радиально расходящихся радиоярких лавовых потоков. Вероятно, это последние следы когда-то мощной вулканической деятельности, сформировавшей поверхность плато Лакшми.

Плато Лакшми окружено почти со всех сторон системами горных хребтов и разделяющих их долин, параллельных границам плато. Это горы Акны на западе, горы Фрейи на севере, горы Максвелла на востоке и уступ Весты на юге. Судя по рельефу, эти горные хребты возникли при смятии пород поверхности в складки или надвигании их в виде расколовшихся пластин друг на друга. В любом из этих случаев для образования гор требуется сжатие в горизонтальном направлении, что характерно для горообразовательных процессов на Земле и не типично ни для Луны, ни для Марса. Причины этих тектонических деформаций под воздействием гори-



Плато Лакшми и его горное обрамление. Размер территории 2000×2000 км. 1 — кальдера Колеетт, 2 — кальдера Сакадживава, 3 — горы Акны, 4 — горы Фрей.

зонтально ориентированных напряжений еще предстоит установить.

Плато Лакшми и его горное обрамление образуют в совокупности как бы гигантский венец, и можно думать, что и он был сформирован за счет подъема горячего мантийного материала, только масштабы этого процесса здесь гораздо больше, чем при образовании венцов «нормального» размера. Однако пока это только одно из предположений. Обсуждаются и другие возможные причины, например деформации, возникающие в литосфере планеты при изменении положения оси ее вращения и скорости вращения. Последняя же, как известно, на Венере явно аномальна — Венера вращается вокруг собственной оси очень медленно — за 243 земных суток — и в обратную, чем все другие планеты, сторону.

С удалением от плато Лакшми в окружающих его горных сооружениях проис-

ходит постепенная, а иногда и резкая, смена типа рельефа. Параллельные друг другу и границам плато протяженные хребты и долины сменяют системы более коротких пересекающихся хребтов и долин с диагональным или хаотическим структурным рисунком. Местность такого типа не характерна для других изученных планетных тел. Она получила условное наименование «паркет», а в системе планетной номенклатуры — «тессера», что по-гречески означает «черепица». Нечто похожее наблюдается лишь в западной части поднятия Фарсида на Марсе. На Венере же «паркет» слагает всю восточную часть Земли Иштар, занимая площадь более 5 млн км², и ряд других возвышенностей. В южной части Земли Иштар имеется область, где рельеф поверхности сформирован системами пересекающихся хребтов и долин. Здесь структурный рисунок напоминает зоны растяжения в осевой части срединно-океанических хребтов на Земле.

Очевидно, что и «паркет», и горы, обрамляющие плато Лакшми, возникли при разрывах пород поверхности при горизонтально направленных напряжениях. В ряде

случаев это, по-видимому, сжатие в горизонтальном направлении, в других — горизонтальное растяжение.

«Паркет» в зоне съемки «Венеры-15 и -16» «устилает» не только крупные возвышенности, но и сравнительно небольшие участки, частично «затопленные» с краев материалом равнин. По-видимому, когда-то местность такого типа была распространена значительно шире, чем сейчас. Пока неясно, как много этих форм рельефа за пределами зоны съемки. Очевидно только, что они характерны для возвышенностей, и может быть, вторая крупнейшая возвышенность Венеры — Земля Афродиты — тоже окажется покрытой «паркетом».

Впрочем, данные «Венеры-15 и -16» говорят и о том, что среди равнин Венеры возвышаются крупные поднятия, поверхность которых имеет почти равнинный облик. Это области Бета, Белл, Ульфрун и Метиды, высотой до 2—4 км, над средним уровнем Венеры. Но и здесь на фоне равнин можно видеть системы параллельных и веерообразно расходящихся уступов или очень крупные вулканические горы с кратером или кальдерой на вершине. Эти возвышенности по своему строению напоминают некоторые сводовые поднятия Земли с рифтовыми зонами впадин на их вершинах, что говорит об обстановке растяжения коры.

КРАТЕРЫ

Среди множества незнакомых нам структур на снимках «Венеры-15 и -16» довольно просто узнаются ударные кратеры диаметром от 4 до 140 км, число которых в зоне съемки достигает 150.

В планетологии по числу кратеров на поверхности нередко определяют возраст той или иной структуры. Если, например, известно, что на площади 1 млн км² за 1 млн лет образуется два кратера, и на каком-то участке такой площади обнаружено 200 кратеров, это означает, что возраст поверхности здесь 100 млн лет. По «кратерным» оценкам, средний возраст всей охваченной съемкой территории Венеры — порядка 1 млрд лет, таков же возраст равнин этой планеты. Заметим, что они гораздо моложе морских базальтовых равнин Луны, которым 3 млрд лет, но старше базальтовых равнин ложа земных океанов. Горные области со сложным рельефом также имеют возраст около 1 млрд лет, а вот на возвышенностях Бета, Белл, Ульфрун, Метиды ударных кратеров не об-

наружено, что, видимо, свидетельствует об их относительной молодости.

Среди 150 кратеров Венеры около 100 имеют ярко выраженные морфологические черты — горку в центре, крутые склоны, зону выброса и т. п. Очевидно, что они мало разрушились за последний миллиард лет геологической истории планеты. Такие низкие темпы разрушения кратеров характерны не для Земли, а для Луны.

Кроме очевидных ударных и вулканических кратеров, на Венере обнаружены похожие на них круговые структуры диаметром от 16 до 200 км, морфология которых выражена нечетко. Они характерны для разных типов местности, но изучены пока лишь на равнинах. Часть этих структур, вероятно, представляет собой сильно разрушенные древние ударные кратеры возрастом порядка 3 млрд лет. Для превращения «свежих» ударных кратеров в такие структуры тех темпов переработки поверхности, которые характерны для новейшего периода истории Венеры, явно недостаточно. Очевидно, в период истории планеты от 3 до 1 млрд лет назад разрушение кратеров на Венере шло несколько быстрее, чем позже, но все же не так быстро, как на Земле.

По сохранности различных элементов кратеров были сделаны некоторые количественные оценки темпов «переработки» поверхности. Оказалось, что за последний 1 млрд лет на Венере был разрушен слой толщиной не более нескольких десятков метров, а за период от 3 до 1 млрд лет назад — не более нескольких сотен метров. Примерно с такой же скоростью идет разрушение поверхности на малых безатмосферных планетных телах типа Луны или Меркурия. А столь низкие темпы не совместимы с условиями, похожими на земные, и особенно с присутствием на поверхности жидкой воды. Таким образом, результаты анализа изображений «Венеры-15 и -16» говорят, что по крайней мере в течение 3 последних миллиардов лет (а это 2/3 «жизни» планет Солнечной системы) на поверхности Венеры господствовала раскаленная безжизненная пустыня под плотным колпаком углекислой атмосферы.

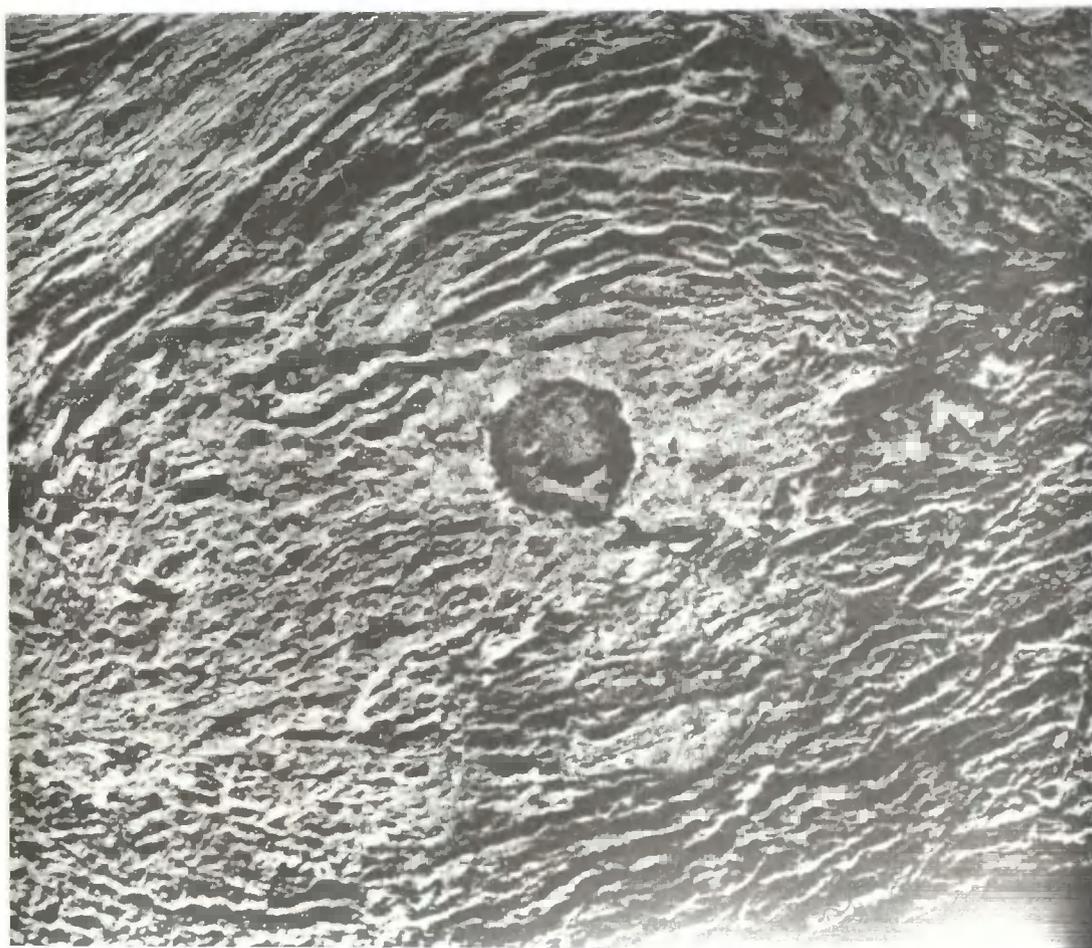
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ВЕНЕРЫ

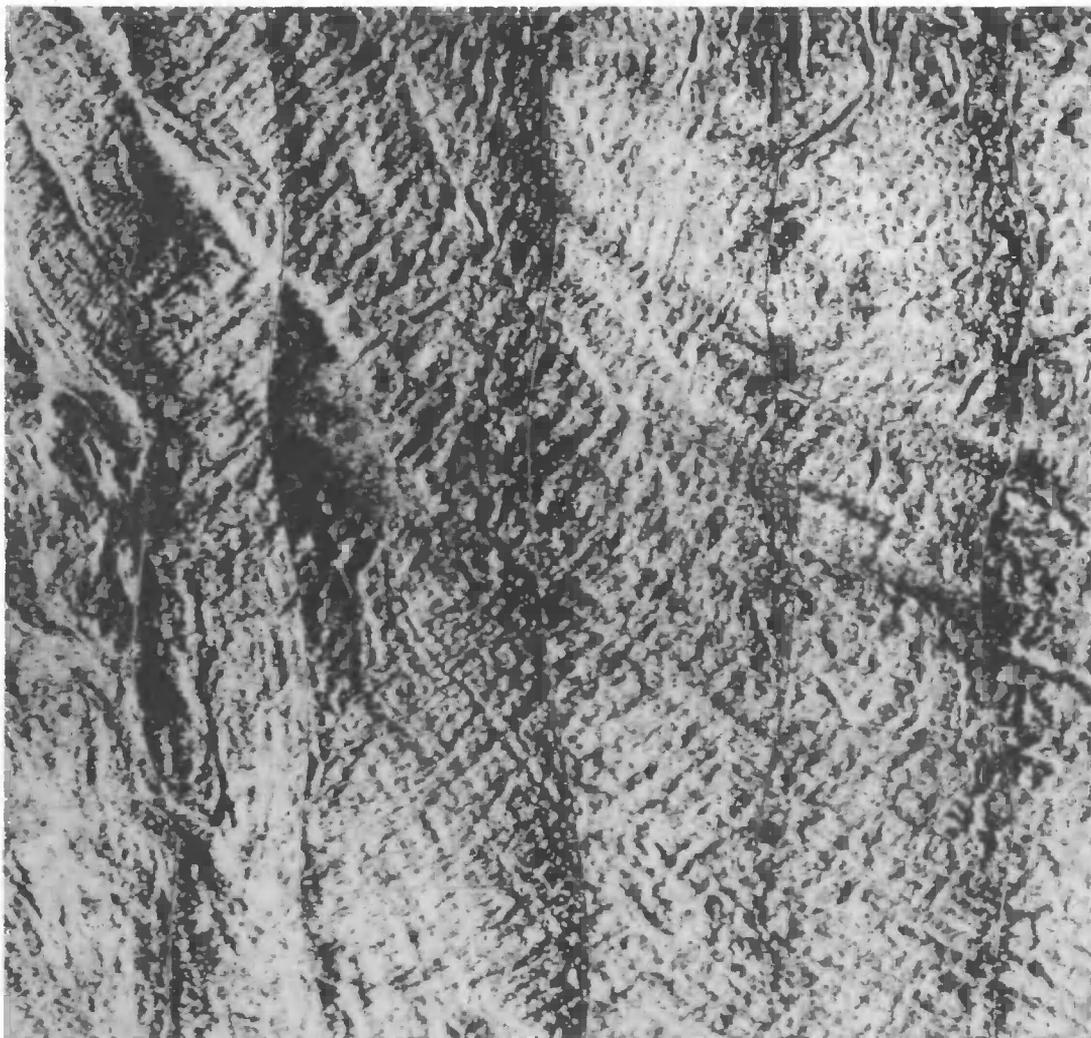
В результате анализа радиолокационных изображений «Венеры-15 и -16» Рабочей группой была создана геолого-мор-

Асимметричные хребты гор Акны. Размер территории 400×500 км. Видны два ударных кратера, один из которых нарушает систему горных хребтов [1] и, следовательно, является более молодым, чем они; другой [2], расположенный на границе гор Акны и плато Лакшми [3], срезается хребтами гор Акны и, следовательно, древнее их.

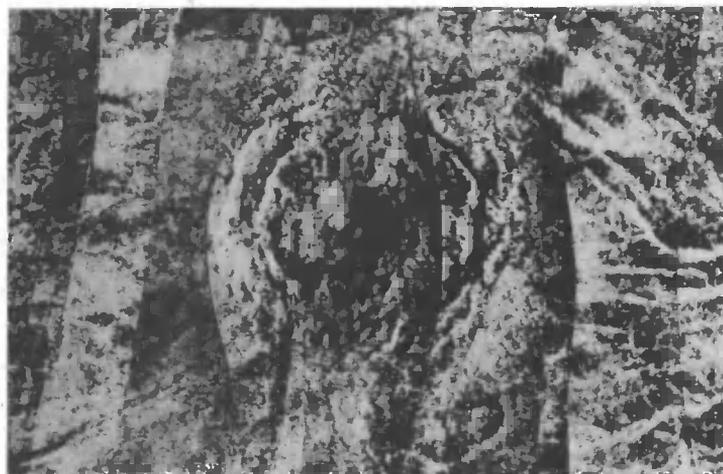


Горы Максвелла. Размер территории 750×750 км. Длинные параллельные хребты горного обрамления плато Лакшми (внизу) сменяются короткими нарушенными поперечными сдвигами хребтами местности паркетного типа. В центре — кратер Клеопатра и участки выровненной местности вокруг него, по-видимому, сложенные выбросами из этого кратера.





Системы пересекающихся хребтов и долины тессеры Лаймы. Размер территории 500×600 км.



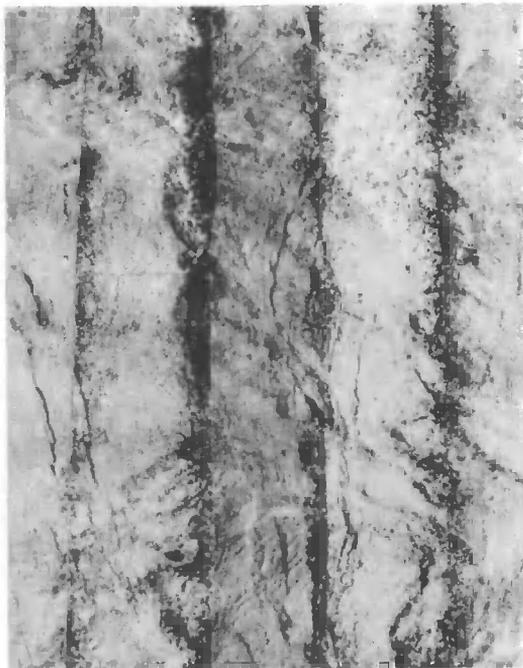
Ударный кратер Коттон, диаметром 52 км, с радиарными зонами выбросов.

фологическая карта зоны съемки масштаба 1:10 000 000, упрощенный вариант которой мы приводим.

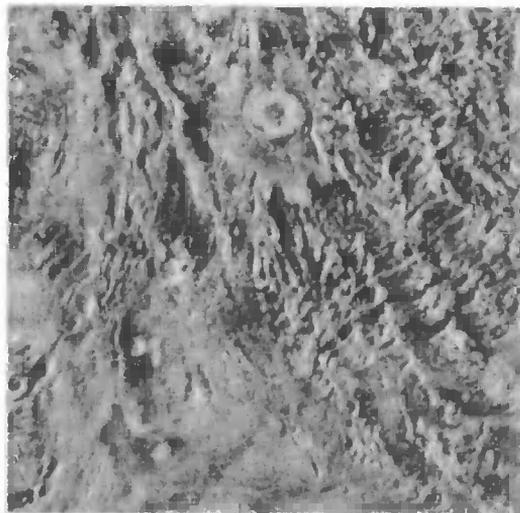
Прежде всего на карте бросается в глаза преобладание вулканических равнин над горными областями. Это новое подтверждение сделанного ранее на основании изучения Луны, Меркурия и Марса вывода о том, что базальтовый вулканизм — универсальное для планет земной группы проявление на поверхности процессов геохимической дифференциации планетных недр и что это проявление тем сильнее, чем крупнее планета.

В распределении на территории съемки горных областей, образованных интенсивными тектоническими деформациями, видна некоторая упорядоченность. Зоне тектонических деформаций Земли Иштар, обрамленной венцами, как бы противостоит область поясов тектонических гряд равнины Аталанты. По-видимому, все эти образования взаимосвязаны. По расположению структурных элементов в зонах тектонических деформаций можно восстановить направление обусловивших их напряжений. Оказалось, что оно в большинстве случаев близко к широтному, что, возможно, свидетельствует об изменении скорости вращения Венеры или о конвективных «течениях» широтного направления в недрах Венеры. Впрочем, возможно, что оба этих предположения не противоречат друг другу.

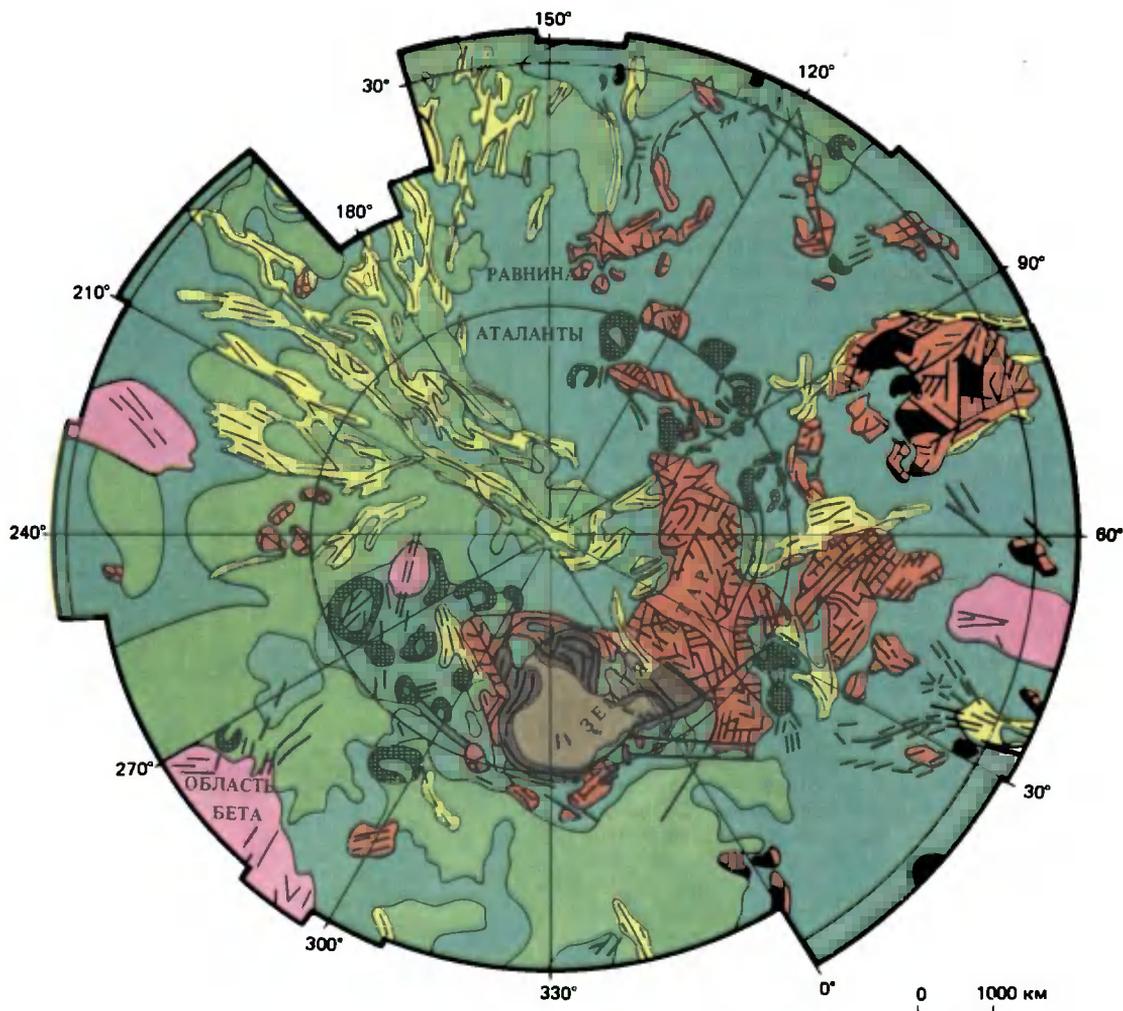
Мы уже говорили, что данные о распределении ударных кратеров позволяют считать, что образование большей части наблюдаемых равнин и гор завершилось 1 млрд лет назад или более, и лишь на вулcano-тектонических поднятиях областей Бета, Белл, Ульфрун и Метиды и некоторых участках равнин проявлялась более молодая вулканическая или тектоническая активность. На карте эти области занимают незначительную часть, следовательно, на большей части территории съемки вулканическая и тектоническая деятельность в основном уже давно угасла. На Земле области развития базальтовых излияний и интенсивных тектонических деформаций возрастом менее 1 млрд лет резко преобладают по площади над более древними образованиями. Отсюда следует, что, по крайней мере, в последний миллиард лет вулканическая и тектоническая активность на Земле была гораздо сильнее, чем на Венере. Возможно, причина этого в более высокой, чем у Земли, активности недр Венеры на ранних стадиях ее развития.



Системы уступов на сводовом поднятии области Бета, свидетельствующие о растяжении коры Венеры. Размер территории 700×800 км.



Двукольцевой ударный бассейн Клёнова диаметром 140 км на равнине Лоуи. Типичная для этого района система радиарных гряд — полос около кратера исчезает, перекрытая выбросами из кратера.



Геолого-морфологическая карта зоны съемки Венеры космическими аппаратами «Венера-15 и -16». Составлена сотрудниками Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР и Геологического института АН СССР.

-  Холмистые равнины
-  Гладкие равнины
-  Плато Лакшми
-  Горное обрамление плато Лакшми
-  Пояса гряд на равнине
-  Области пересекающихся хребтов и равнин («паркет»)

-  Возвышенности со слабообремененным рельефом
-  Венцы
-  Основные структурные линии

ДАННЫЕ «ВЕГА-1 И -2»

Пока шел анализ результатов радиолокационной съемки «Венеры-15 и -16» появились новые данные о Венере. Спускаемые аппараты советских межпланетных станций «Вега-1 и -2» достигли этой планеты и передали новую информацию о свойствах ее атмосферы и поверхности.

Таблица 1
Содержание калия, урана и тория в породах поверхности Венеры, г/т

| Химический элемент | «Венера-8» | «Венера-9» | «Венера-10» | «Вега-1» | «Вега-2» |
|--------------------|-------------|------------|-------------|-----------|-----------|
| Калий | 40000±12000 | 5000±1000 | 3000±2000 | 4500±2200 | 4000±2000 |
| Уран | 2,2±0,7 | 0,6±0,2 | 0,5±0,3 | 0,64±0,47 | 0,68±0,38 |
| Торий | 6,5±0,2 | 3,7±0,4 | 0,7±0,3 | 1,5±1,2 | 2,0±1,0 |

Таблица 2
Содержание главных породообразующих элементов в породах поверхности Венеры, %

| Химические соединения | «Венера-13» | «Венера-14» | «Вега-2» |
|--------------------------------|-------------|-------------|-----------|
| SiO ₂ | 45,1±3,0 | 48,7±3,6 | 45,6±3,2 |
| TiO ₂ | 1,59±0,45 | 1,25±0,41 | 0,2±0,1 |
| Al ₂ O ₃ | 15,8±3,0 | 17,9±2,6 | 16,0±1,8 |
| Fe ₂ O ₃ | 10,3±2,6 | 9,8±2,0 | 7,74±1,1 |
| MnO | 0,2±0,1 | 0,16±0,08 | 0,14±0,12 |
| MgO | 11,4±6,2 | 8,1±3,3 | 11,5±3,7 |
| CaO | 7,1±0,96 | 10,3±1,2 | 7,5±0,7 |
| K ₂ O | 4,0±0,63 | 0,2±0,07 | 0,1±0,08 |
| SO ₃ | 1,62±1,0 | 0,88±0,77 | 4,7±1,5 |
| Cl | 0,3 | 0,4 | 0,3 |

Здесь мы кратко остановимся на результатах определения химического состава пород поверхности в местах посадки, которые получены в нашем институте группой сотрудников лаборатории геохимии планет под руководством Ю. А. Суркова.

Спускаемые аппараты совершили посадку в раннее не исследовавшейся области Венеры. Оба места посадки находятся на равнине Русалки, прилегающей с севера к самой обширной горной стране этой планеты — Земле Афродиты. Гамма-спектрометрическим методом были определены концентрации калия, урана и тория (табл. 1). Эти концентрации близки к концентрациям тех же элементов в местах посадки спускаемых аппаратов «Венера-9 и -10». Они характерны для магматических пород Земли основного состава и нормальной щелочности — габбро и базальтов, что еще раз подтверждает в основном базальтовую природу равнин Венеры.

В месте посадки спускаемого аппарата «Вега-2» было также проведено определение химического состава пород поверхности рентгенофлуоресцентным методом. С помощью бурения с поверхности был взят небольшой образец и через систему шлюзов перенесен внутрь аппарата, где проводился анализ, результаты которого представлены в табл. 2. Следует

отметить, что если гамма-спектрометрическим методом определялось содержание элементов на площадке под спускаемым аппаратом в слое толщиной около 0,5 м, то рентгенофлуоресцентному анализу был подвергнут образец массой в несколько граммов. Отсюда некоторые расхождения в результатах по калию.

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа говорят о том, что бур вошел в породу основного состава нормальной щелочности. По соотношениям главных породообразующих элементов она схожа с земными породами, образовавшимися из магмы, содержащей около 1 % H₂O. Это косвенное свидетельство существования воды в недрах Венеры заслуживает особого внимания, так как вода оказывает сильное влияние на ход магматических процессов и меняет свойства силикатных расплавов. Обращает на себя внимание и высокое содержание серы в породе места посадки «Вега-2». Очевидно, что она сконцентрировалась здесь при взаимодействии породы с сернистыми газами, входящими в состав атмосферы.

Анализ данных, полученных спускаемыми аппаратами «Вега-1 и -2» и радаром «Венеры-15 и -16» продолжается. Впереди новые полеты и новые данные, которые позволят нам лучше понять геологию планет, а вместе с ней и геологию Земли.



Полесский заповедник

Т. Л. Андриенко,

кандидат биологических наук

Институт ботаники им. Н. Г. Холодного АН УССР
Киев

Украинское Полесье — край лесов, спокойных рек и туманных болот. Это юго-западная оконечность зоны смешанных лесов и южная часть обширного понижения — Полесской низменности, сформированной деятельностью ледника и его вод. В северной части Украинского Полесья, близ границы с Белоруссией, на территории Олевского и Овручского районов Житомирской области находится Полесский государственный заповедник. Он был создан в 1968 г., чтобы сохранить типичные для Полесья Украины леса болотного комплекса со всем свойственным ему животным и растительным миром.

Во владениях заповедника площадью 20,1 тыс. га объединены земли трех лесничеств — Копыщенского, Перганского и Селизевского. Быстрая, перерезающая местами выходы гранитов р. Уборть ограничивает территорию заповедника с запада, а узенькая Болотница с тихими заводами — с востока. Болотница действительно протекает среди болот, а Уборть получила свое название от бортей — деревянных колод-ульев. Бортьничество было известно еще у древних славян, но и поныне можно встретить борти на старых деревьях по берегам реки.

Плавный равнинный рельеф территории заповедника нарушают лишь приподнятые террасы рек и песчаные холмы. С высоты птичьего полета заповедник кажется почти сплошным лесным морем, окружающим безлесные или редколесные «острова» болот. И в самом деле, леса составляют здесь больше 70 % растительного покрова, а болота — одни округлой, другие удлиненной формы — занимают пятую часть территории заповедника.

Среди лесов преобладают сосновые: их площадь — это 75 % всех лесных массивов. Почти пятая часть лесов — березняки двух типов. В одних преобладает береза повислая, или бородавчатая (*Betula pendula*), появившаяся на месте больших

сосновых лесов, в других, возникших на заболоченных участках, доминирует береза пушистая (*B. pubescens*). Неопытный глаз почти не различит этих видов берез, а растут они в разных условиях и образуют разные по характеру леса. Леса из березы повислой — сухие и светлые, в их подлеске преобладает вереск, из трав много злаков, а в ярких куртинах — растения, обычные для опушек. Березняки из березы пушистой заболочены, это, по сути, переходная зона между лесами и болотами. Почти совсем нет в заповеднике дубово-сосновых и ольховых лесов, типичных для остальной части Украинского Полесья, нет лесов из граба и дуба, также встречающихся в Полесье. Слишком беден почвенный покров заповедника, сформировавшийся на песчаных отложениях: в нем преобладают дерново-слабоподзолистые почвы, а в заболоченных понижениях — торфянистые почвы и торфяные залежи.

Болота в заповеднике образуют большие массивы. Это Мироши, Хомин Мох, Иосифово болото и другие. Почти все болота бедны минеральными солями, здесь почти нет эвтрофных болот, в которых растения не испытывают недостатка в минеральном питании, а существуют мезотрофные (переходные), олиготрофные (верховые) и промежуточные по содержанию солей между ними — мезоолиготрофные. Мезотрофные болота наиболее обводнены, они обычно безлесны или покрыты очень редкими лесами. На таких болотах почти сплошной ковер образует осока волосистоплодная, тонкие побеги которой колышутся на ветру. На одном из мезотрофных болот — Иосифовом — заложены стационарные площадки и ведутся научные наблюдения.

Иной характер имеют олиготрофные и мезоолиготрофные болота. На их невысоких моховых буграх растет угнетенная сосна, а в нижнем ярусе преобладают кустарнички — клюква, багульник и пушица



Сосновый зеленомошный лес.

влагалищная. Болота Украинского Полесья в своем развитии не дошли до стадий образования гряд и мочажин, свойственных северным болотам. На территории заповедника только на отдельных участках есть бугры, образованные сфагновыми мхами: *Sphagnum fuscum* и *S. rubellum*.

Ближайшая к болотам часть рельефа — густая полоса заболоченного леса с голубикой и багульником. Над этой полосой возвышаются песчаные холмы. Самая низкая их часть — это тоже заболоченные березово-сосновые леса, в которых кукушкин лен или сфагновые мхи образуют сплошной покров. На таком покрове нередко доминирует свойственный лесоболотному ландшафту злак — молиния голубая. Заболоченных березово-сосновых лесов в заповеднике много, они полосами окаймляют болотные массивы и занимают небольшие замкнутые котловины.

К этим лесам выше примыкают лесные массивы тоже из березы и сосны, но в них густой покров образован черникой и молинией. Еще выше такие сообщества сменяют сосновые зеленомошные леса.

Верхнюю часть песчаных гряд занимают сосновые леса с лишайниками, сплошь

покрывающими почву. Такие лишайниковые сосняки характерны для более северных районов и на Украинском Полесье встречаются довольно редко, составляя всего 1—2 % площади сосновых лесов. А территория заповедника богата ими, здесь они составляют 15—20 % от всех лесных площадей. Во владениях Копыщенского лесничества в таких лесах группами встречается можжевельник. Подобные лесные сообщества нередки в таежной зоне, но в Полесье их немного, поскольку они находятся на южной границе ареала.

Во флоре заповедника насчитывается 603 вида сосудистых растений, среди них много редких видов. Это преимущественно «северяне»: клюква мелкоплодная (*Oxycoccus microcarpa*), гудайера ползучая (*Goodyera repens*), ивы — лапландская (*Salix lapponum*) и черниковидная (*S. myrtilloides*) и др. Для них территория заповедника — это южная граница ареала. Есть и западные виды, находящиеся на восточной границе своего распространения. К числу их относится, например, росянка промежуточная (*Drosera intermedia*), обитательница переходных болот. К жизни на бедной минеральными солями болотной почве это мелкое растение приспособилось своеобразно: оно дополнительно питается насекомыми. Из железистых волосков с красной головкой, покрывающих



Иосифово болото — одно из болотных массивов Украинского Полесья.



Березняк с вереском.



Постройки бобров на р. Болотинце.



Ликоподия заливаемая — редкий вид плауна.

мелкие листья, выделяется липкая жидкость, содержащая пищеварительные ферменты и органические кислоты. Достаточное насекомому опуститься на такой листок, как оно тотчас же приклеивается к листку, все волоски склоняются к жертве, и она оказывается в губительной для себя жидкости. К этой же группе растений принадлежит ситник растопыренный (*Juncus squarrosus*), дифазиаструм трехколосковый (*Diphaziastrum tristachyum*).

Животный мир заповедника довольно разнообразен. Обычны здесь млекопитающие — лось, козуля, кабан, бобр, волк, белка и др. Бобры издавна обитают на Украинском Полесье. К началу нашего века они, как и повсюду на территории Украины, были почти полностью истреблены, сохранились лишь отдельные семьи. После того как бобры были взяты под охрану и численность их возросла, их стали расселять по другим местам. По р. Бобер с этой целью создан государственный заказник Прище. В заповеднике бобры облюбовали тихие речки и заводи, в том числе маленькую спокойную Болотницу, на которой строят плотины.

Богата в заповеднике орнитофауна — более 100 видов птиц населяет его территорию. И среди них — черный аист (*Ciconia nigra*) — вид, занесенный в «Красные книги» СССР и УССР. На Украине он гнездится лишь в Полесье и в карпатских лесах. Эта осторожная птица обитает в глухих уголках старых лесов, часто в болотистой труднодоступной местности. По мнению зоологов, число черных аистов на Украине не превышает 300, за их гнездовьями в заповеднике ведутся наблюдения.

В «Красную книгу Украинской ССР» занесен и серый журавль. Он распространен на большей, чем черный аист, территории Украины, но численность журавля на гнездовании еще меньше — в 1977 г. было не больше 200 пар. Журавли не только гнездятся в заповеднике, осенью они скапливаются на пролете. Есть в заповеднике и редкие для Украины глухарь и тетерев, которые для тока выбирают лесные островки среди болот, где обильны ягоды — клюква, черника. Земноводные, рептилии, рыбы, а также беспозвоночные в заповеднике изучены еще недостаточно.

В Полесском заповеднике, единственном на Украинском Полесье, много проблем. Хотя он был основан почти 20 лет назад, больше 10 лет не проводились регулярные научные наблюдения, не было дирекции, научного штата, помещений для

научной работы. Сейчас у села Селезовка выросла новая усадьба заповедника, создаются лаборатории и музей природы. Но научные штаты по-прежнему не укомплектованы, по-прежнему нет возможности проводить полные стационарные наблюдения. Научными исследованиями занимается в основном специалист Института зоологии и Института ботаники Академии наук УССР. Ботаники составили список флоры, карту растительности, изучили распространение растений, динамику растительности, помогли сотрудникам заложить стационарные площадки для исследований, составили гербарий. Но этого, конечно, мало, постоянные наблюдения могут проводиться только сотрудниками заповедника, научная работа — одна из основных задач заповедников.

Насущная необходимость — изменить конфигурацию территории заповедника. Сейчас в его центральную часть вклиниваются мелиорированные сельскохозяйственные угодья, и на прилегающих к ним заповедных участках изменяется растительный покров. Этим нарушается основное кредо заповедной территории, она перестает быть эталоном дикой природы. Несколько лет назад был предложен выход: включить мелиорированные земли во владения заповедника, а южную часть, сильно измененную геологоразведочными работами, исключить. Это вполне рациональное предложение, поскольку мелиоративная система была бы законсервирована, а земли, которые уже сейчас зарастают лесом, стали бы полигоном, где можно изучать восстановление растительности.

Влияние мелиорации — основной антропогенный фактор, изменяющий облик заповедного Украинского Полесья. Полесский заповедник должен стать барометром гидрологической ситуации района. Однако и гидрологические наблюдения пока не проводятся из-за отсутствия в штате гидролога.

Природные условия и растительный мир заповедника не вполне репрезентативны для Украинского Полесья, они беднее, чем в большей части Полесья. В будущем предполагается создать Полесский биосферный заповедник с филиалами на всей территории Полесья, а его ядром сделать ныне существующий. Такой биосферный заповедник станет местом, где будут изучаться изменения природной среды Украинского Полесья. Но это в будущем, а сейчас нужно решать проблемы существующего заповедника, и без участия Министерства лесного хозяйства УССР, которому подчинен заповедник, нам не обойтись.

Малоазиатская ящерица исчезает из фауны СССР

И. С. Даревский,
доктор биологических наук
Зоологический институт АН СССР
Ленинград

Ф. Д. Даниелян,
кандидат биологических наук
Ереванский государственный уни-
верситет

Сухие разнотравно-злаковые степи горной Армении усеяны камнями. Большие и маленькие, группами и в одиночку, насколько хватает глаз, они возвышаются над травой, создавая неповторимый колорит армянского степного высокогорья. В утренние часы, когда жара не особенно сильна, осторожно ступая среди камней, можно заметить греющихся малоазиатских ящериц (*Lacerta parva*). Потревоженная ящерица стремительно спрыгивает с камня и сразу как бы растворяется в переплетениях колышущихся стеблей, становится почти неразличимой на бегу.

Не такая крупная (длина ее вместе с хвостом не превышает 12 см) и не так ярко окрашенная, как некоторые другие виды этого же рода *Lacerta*, малоазиатская ящерица по своему красива. По зеленовато- или коричневатому-серому верху ее тела проходят ряды темных неправильной формы пятен с го-

лубыми у самцов и беловатыми у самок глазками в каждом. Ряды этих пятен отделены светлыми полосками, иногда сливающимися в сплошные продольные линии. Брюшная сторона тела самцов яркого желто-зеленого цвета, у самок она беловатая, только низ хвоста у тех и других нежного желтовато-кремового цвета.

После зимовки, весной малоазиатская ящерица выходит из нор, в которых переживает холодную пору, сравнительно поздно, в начале или середине апреля (кстати, нор эти ящерицы, с короткими слабыми конечностями, не роют, а используют и для зимовки, и летом в качестве убежища норы сусликов и других грызунов, а также пустоты под вросшими в землю камнями). Первые дни они подолгу неподвижно лежат на солнцепеке, мало заметные на покрытых лишайниками камнях. Вскоре начинается линька, а за ней наступает брачный период с турнирами половозрелых самцов. Сверкая яркой окраской, они медленно кружат друг подле друга, приподнявшись на передних ногах и демонстрируя зелено-желтое брюхо и голубые пятна на боках. До кровопролития дело, однако, не доходит, и один из противников, видимо, более молодой и слабый, вскоре убегает, а победитель некоторое время преследует его. В начале мая происходит спаривание, в конце июня, а затем еще раз в конце июля — начале августа самка откладывает в норе или под камнем 2—5 розоватых яиц. Спустя 50—55 дней из них появ-

ляются молодые ящерицы, размером вдвое меньше своих родителей, причем хвост этих изящных животных составляет немногим более половины тела. Половозрелыми ящерицы становятся после второй зимовки, молодые самки впервые откладывают обычно 2, редко 3 яйца.

Питается малоазиатская ящерица различными насекомыми, главным образом мелкими прямокрылыми, поедает, кроме того, гусениц, двукрылых, жуков, уховерток, а также пауков и земляных червей. Свою добычу она подстерегает в траве или ловко схватывает на лету в стремительном и точном прыжке.

Однако в настоящее время очень трудно увидеть ящерицу во время охоты, пожалуй, не легче обнаружить ее и просто греющейся на солнце.

Распространенная главным образом в Турции, из восточной ее части малоазиатская ящерица проникает в ближайшие районы Армении. Там она не была редкостью еще в начале 50-х годов: в некоторых местах можно было насчитать 30—35 особей на гектаре целинных степей. Тогда трудно было предположить, что совсем скоро ящерица попадет на страницы «Красной книги СССР» как один из видов, которому угрожает исчезновение. Основная, если не единственная причина этого — разрушение естественных мест обитания.

В настоящее время значительная часть целинных степей горной Армении распашана, а усевашшие их некогда камни

кучами собраны на межах и окраинах возделываемых полей. Первые 2—3 года после распахки целины ящерицы еще можно встретить на межах полей и обочинах проходящих через них дорог, но позже они уходят и отсюда. В немалой степени это связано с исчезновением на по-

лях грызунов, прежде всего сусликов, норы которых ящерицы используют для зимовок. В результате резко падает численность: в одном из уцелевших участков (общей площадью 15 га) горной степи на севере республики в 1981—1983 гг. мы встречали в среднем 5—6 особей на гектаре, а весной 1985 г. после долгих поисков на всем участке нашли всего 7 взрослых ящериц.

Судя по темпам сокращения численности, велика опасность, что в очередных изданиях Красных книг малоазиатскую ящерицу придется указывать уже на черных листах как вид,

окончательно исчезающий из нашей фауны. В настоящее время известна только одна, обнаруженная в 1985 г. более или менее стабильная популяция малоазиатской ящерицы на западе Армении, но и этой территории угрожает распахка в ближайшие несколько лет.

Быстрое необратимое сокращение численности этого вида в значительной мере обусловлено его ярко выраженной привязанностью к строго однотипным местам обитания. Как уже упоминалось, в Армении малоазиатская ящерица живет почти исключительно в сухой

Взрослый самец малоазиатской ящерицы.





Каменистая горная степь в северной Армении — типичное место обитания малоазиатской ящерицы.

горной степи на высотах 1500—2000 м над ур. м., лишь в некоторых местах заходит на прилежащие крутые склоны с обнажениями горных пород. Кроме того, ей свойственно мозаичное распространение, при котором отдельные участки обитания отделены друг от друга значительным расстоянием.

По неясным пока причинам малоазиатская ящерица отсутствует на многих, внешне вполне пригодных для нее участках целинной степи, сохранившихся в центральной и восточной частях Армении, в частности в бассейне озера Севан. Этим она отличается от многих других

кавказских ящериц рода *Lacerta*, которые в той или иной мере способны жить в разнообразных условиях. Так, например, полосатая ящерица (*L. strigata*), которая, кстати, в Армении встречается совместно с малоазиатской, обитает не только в горной степи, но также в полупустыне, в кустарниковых зарослях и сухих лесах.

Есть надежда, что отдельные популяции малоазиатской ящерицы, интересной еще и необычным для подавляющего большинства видов рода *Lacerta*, редуцированным диплоидным числом хромосом (у *L. parva* их всего 24, у других ящериц — 38, редко 36 хромосом), еще сохранились где-либо в горах северо-западной и северной Армении. Отыскать их — задача герпетологов.

У малоазиатской ящерицы очень немного естественных врагов — только изредка она становится жертвой обыкновенной медянки, степной гадюки, да некоторых пернатых хищни-

ков. Следовательно, ничто, кроме исчезновения природных биотопов, существованию ее не угрожает. Тем скорее должны быть приняты меры по ее пока еще возможному спасению. Первейшая и главная из них — исключение из хозяйственной деятельности нескольких сохранившихся участков каменистой степи на неосвоенных склонах. Необходимые участки уже нами подысканы, их площадь невелика — всего около 15 га, осталось безотлагательно провести это предложение в жизнь.

Кормятся птицы

А. Г. Резанов



Александр Геннадиевич Резанов, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник. Лаборатории мониторинга природной среды и климата Госкомгидромета и АН СССР. Круг научных интересов — кормовое поведение птиц, особенности временной структуры популяций животных.

К последствиям человеческих действий, сравнимых, по мнению В. И. Вернадского, с действием сил самой природы, приспособляются и птицы, и звери. Приходится им приноравливаться и к жизни в городе. И если число живущих там видов млекопитающих очень ограничено, то птичье население не только разнообразно, но и многочисленно. Интересно, что в городе встречаются и многие птицы, живущие в его окрестностях, и те, которых нет в окружающих город биотопах. В чем проявляется адаптация к новой, городской среде обитания, как она развивается? Мы попытаемся ответить на эти вопросы, проследив только, как и какую пищу добывают городские пернатые.

*

Где бы птицы ни жили, им прежде всего приходится заботиться о хлебе насущном, а потом уже обо всем остальном. Возможно, по этой причине их поведение, связанное с добычей корма, особенно изменчиво, именно оно в наибольшей степени соответствует конкретным условиям существования.

Далеко не все птицы меняют свой рацион, многие добывают обычную для вида пищу, но в новых условиях. Так, хорошо известная горожанам белая трясогузка в природе охотится за насекомыми

и их личинками на отмелях, по берегам рек, озер, морей. В городах она тоже ловит насекомых (обычно мух), но кормится на асфальтированных дорожках, утопанных тропинках в парках, на бульварах и скверах, на крышах зданий и даже на проезжей части не слишком оживленных автодорог. На асфальтовых, бетонированных и других ровных и открытых участках им значительно легче найти добычу и охотиться. Белую трясогузку и обыкновенного скворца особенно привлекают насекомые, обездвиженные и погибшие во время дождя или после полива тротуаров. Подвижные и ловкие трясогузки свободно бегают по наклонным бетонированным берегам московских прудов, спускаются к самой воде и даже хватают упавших туда насекомых.

В городах с асфальта собирают корм обыкновенный скворец, иногда зяблик, зеленушка, большая синица, галка, серая ворона, сорока и, конечно, городской воробей и сизый голубь. В последние годы на ВДНХ СССР и в Главном Ботаническом саду АН СССР на асфальтовых дорогах стали слетать за кормом такие сравнительно осторожные птицы, как певчий дрозд и дрозды-рябинник.

Птицы в городе могут кормиться в самых разнообразных, порой неожиданных местах. Городской воробей, например, не-

редко кормится на железнодорожных и аэровокзалах, в поисках пищи залетает в столовые, а ночью — в освещенные продовольственные магазины. В открытых летних столовых и кафе он утаскивает пищу с тарелок, стоит лишь отвлечься.

Городской и полевой воробьи, обыкновенный скворец, белая трясогузка, галка, серая ворона, сорока слетают кормиться на недавно подстриженные или вскопанные газоны. Здесь им легче, чем в высокой траве, обнаружить добычу и передвигаться во время охоты. Но если поблизости нет газона, птицы находят другой выход. Городской воробей, например, летая низко над травой, зависает над каким-либо местом и выпугивает оттуда насекомых, которые тут же становятся его добычей.

Воробьи приспособились охотиться в парках на подрезанных кустарниках, на их почти сплошной зеленой дорожке они находят немало насекомых. Изобретательность воробьев просто поразительна. Мне рассказывали о воробье, который выскивал пищу в радиаторах машин на стоянке. Начал он с «Жигулей»: вцепившись в арматурный щиток, который защищает радиатор мотора, воробей вытаскивал насекомых, застрявших в промежутках между полосками облицовки радиатора. За «Жигулями» наступила очередь «Москвича» и «Волги», но из их радиаторов достать насекомых не удалось, клюв оказался слишком коротким. И воробей стал кормиться только на «Жигулях».

Мелкие воробьиные находят пищу и на аэродромах, они достают насекомых и семена растений из всевозможных щелей и отверстий в обшивке корпуса только что приземлившихся самолетов. По сведениям В. Э. Якоби, ласточки следуют за вырливающим самолетом и ловят насекомых, подхваченных воздушными вихрями. Воробьи и белые трясогузки охотно кормятся возле нагретых солнцем каменных зданий — насекомых здесь много, и они хорошо заметны.

Пожалуй, больше всего пищи для птиц в городских контейнерах с пищевыми отходами. Сюда слетается множество пернатых: городской воробей, сизый голубь, серая ворона, галка, сорока, грач, обыкновенный скворец, большая синица, иногда белая трясогузка (ее привлекают не пище-



Ворона размачивает кусок сухого хлеба в вытекающей из трубы воде.

вые отходы, а обилие мух), большой пестрый дятел и даже дрозд-рябинник. Птицы дежурят у открытых летних кафе и столовых, у продовольственных магазинов и в других местах, где они могут пожить. Серая ворона в поисках съестного вытаскивает из контейнеров бумагу и тщательно обследует ее, причем за ближайшее место к контейнеру птицы ссорятся и дерутся.

Иногда на открытых контейнерах с пищевыми отходами целыми выводками собираются скворцы. Молодые сначала наблюдают за кормежкой взрослых птиц, а затем и сами слетают внутрь контейнера. Так, у живущих в городе скворцов закрепляется и распространяется необычная для вида повадка. Молодые учатся у взрослых находить и использовать в пищу то, что выбросил человек.

Много врановых, а в приморских городах и чаек, скапливается на городских свалках. Именно с переходом на питание столь доступным и обильным кормом и выкармливанием им птенцов орнитологи связывают небывалый рост численности этих видов птиц в городах Европы и Америки. В Предкавказье на свалках собираются тысячи зимующих скворцов.

На Москве-реке, в местах, где сбрасываются городские сточные воды, постоянно кормятся ставшие теперь обычными озерные чайки, а иногда и сизые. По льду городских рек ходят в поисках вмерзших пищевых отходов серая ворона, галка, сизый голубь.

Еще не так давно из щелей выставленных за окна ящиков, которые заменяли холодильники, доставала пищу большая синица. Удивительно, что и экзотическая для города птица — черный дятел (желна), птица довольно пугливая, нелюдимая, был достигнут за такой же трапезой: мощным клювом он продолбил жестяной ящик с мясом за окном 9-го этажа. Это пока единственный известный автору случай, но в Новосибирске большой пестрый дятел регулярно прилетает покормиться на балкон, где специально для птиц вешена авоська с салом.

Большая синица стала усваивать уроки полезного соседства с человеком давно, и теперь можно проследить, как возникали у нее необычные повадки, связанные с добычей корма. В 1921 г. в Великобритании орнитологи впервые заметили, что синицы проклеивают восковые пробки молочных бутылок, которые молочницы обычно оставляли на ступенях у дверей, и выпивают часть содержимого. Новая повадка стала быстро распространяться и среди

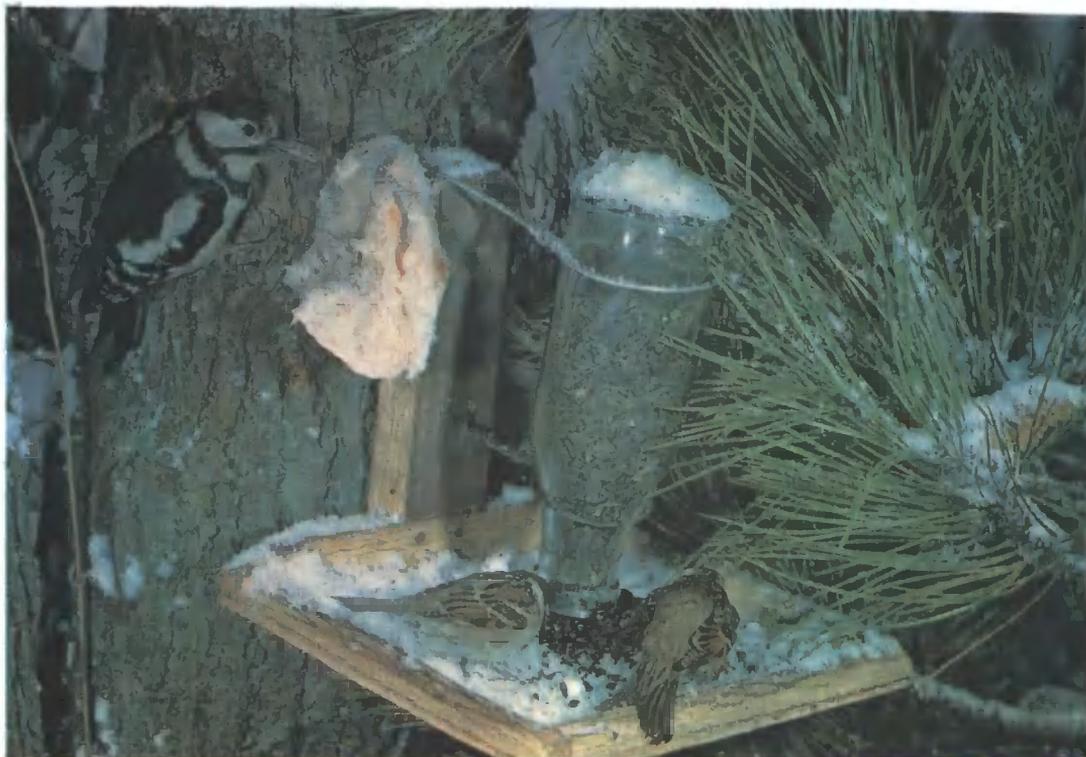
других птиц, через 20 с небольшим лет еще 10 видов стали питаться молоком: гаичка, лазоревка, москочка (все синицы), городской воробей, черный дрозд, обыкновенный скворец, зарянка, зяблик, певчий дрозд и полевой воробей.

Мы упоминали, что в городах увеличилась численность врановых (в Москве, по самым скромным подсчетам, врановых, в основном ворон и галок зимует до 700—800 тыс.), это создает опасную эпидемиологическую обстановку, оказывает влияние на состав и распределение, численность и поведение других видов птиц. Ясно, что настала пора регулировать численность врановых, но для этого нужно в деталях знать их поведение. Безусловно, одна из причин столь высокой численности врановых — обилие корма для них, т. е. пищевых отходов. Врановые — птицы с высокой экологической пластичностью — перешли на питание почти только кормами антропогенного происхождения и стали выкармливать ими птенцов.

Московская популяция серой вороны, по мнению К. Н. Благосклонова, сформировалась за последние два десятилетия, вороны 50—60-х годов были ничуть не похожи на современных. Сейчас уже никого не удивляет ворона, размачивающая в луже кусочек сухаря или печенья, пытающаяся добраться до остатков молока или кефира в пакете и продалбливающая для этого дыру в нем. Некоторые вороны ухитряются выкрасть пакет с молоком во время разгрузки машины и, надломив угол пакета, чтобы он не выскользнул из клюва, уносят на расстояние до полусотни метров и там пользуются плодами своей сообразительности.

В городе вороны нередко ведут себя как активные хищники: они добывают голубей, уток, а птенцов уничтожают целыми выводками. Хищничество ворон сейчас, по-видимому, формируется как специфичная для вида черта, а не просто специализация отдельных особей. Возможно, развитию хищнических навыков способствует расклеивание животных, сбитых автотранспортом (в Шотландии этим же промыслом занимаются сизые и озерные чайки).

Птицы давно научились извлекать пользу из общения с техникой, изобретательности некоторых нельзя не поражаться. Например американская ширококлювая ворона на проезжую часть автострады вы-



На площадку для подкормки птиц прилетели полевые воробьи и большой пестрый дятел.

кладывает грецкие орехи и другие плоды с плотной оболочкой и ждет, когда проходящая машина раздавит их, а потом съедает мякоть. По-видимому, эта повадка возникла не на пустом месте, в природе вороны бросают раковинных моллюсков и те же орехи на камни (кстати, такой же способ добычи пищи мы видели у серой вороны: с грецкими орехами в клюве эти птицы постоянно летали из селения в предгорьях Дагестана к реке; на ее каменистых берегах мы находили немало ореховой скорлупы). Затем отдельные птицы стали бросать орехи на шоссе, со временем этот способ закрепился, из подражания его освоили другие вороны. Может быть, они и не стали бы прибегать к помощи автомобиля, не попади случайно нерасколовшийся орех под колеса машины.

Еще одна, более древняя связь птиц с техникой известна всем. Многие птицы

в поисках пищи следуют за сельскохозяйственными машинами, обрабатывающими землю. Не одну сотню лет ходят грачи за плугом, вместе с человеком они прошли путь от сохи до современного трактора. Но ведь техника, даже самая примитивная, такая как соха, существовала не всегда, значит на какой-то основе возникла и привычка искать корм во вспаханной земле.

Кормиться на высокотравных лугах грачи, да и большинство других птиц, которые находят пищу на земле, не в состоянии. Возможно, в далекие времена, когда равнины были заселены первобытными племенами, не знавшими земледелия, грачи слетались в места, по которым прошли огромные стада зубров или европейских туров, оставивших после себя оголенные, почти перепаханые копытами трассы. Со временем, когда человек стал обрабатывать землю, грачи вышли на сельскохозяйственные поля, и сейчас эти птицы, добывающие пищу на перевернутых пластах земли, — обычны. А стада диких животных до сих пор сопровождают египетские цапли, скворцы, трясогузки и некоторые другие виды птиц. Правда, они редко передвигаются самостоятельно, а как наездники



В московском парке подкармливают уток.

сидят на крупе животных, слетая лишь за вспугнутой ими добычей.

За грачами такой несложный способ добычи корма освоили и другие птицы: в лесной зоне нашей страны за тракторами во время пахоты выбирают червей, насекомых, их личинок и гусениц галка, серая ворона, сорока, сизая и озерная чайки, белая трясогузка, обыкновенный скворец и другие. Почти все эти виды можно встретить на огородах в черте нынешней Москвы — в Коломенском. В Великобритании за плугом следуют даже черная крачка, чибис, турухтан, серая цапля и обыкновенная пустельга. В Южной Африке на перепаханном поле находят корм около 50 видов птиц, причем некоторые появились там лишь в последние годы. Насекомоядные и хищные птицы стали спутниками сенокосилок, которые вспугивают насекомых и грызунов.

Кто не видел чаек, с криками преследующих большие и малые суда — речные, морские? Птиц привлекают выбрасываемые за борт куски хлеба и пищевые отходы (отходы, летящие из окон поездов,

подбирает серая ворона, а на крайнем севере Карелии этим нередко занимаются сизая чайка и ворон). Легкая добыча для птиц — рыба, которую глушат в верхних слоях воды мощные быстроходные суда. В надежде на поживу следуют чайки за рыбацкими судами, для птиц это своеобразный указатель, по которому они определяют скопление корма в море.

Летом прошлого года на Оке мы насчитали около 100 малых чаек, летящих за теплоходом и время от времени пикирующих в реку. По-видимому, мощная струя воды от теплохода поднимала со дна разных беспозвоночных, на которых и охотились чайки. Нередко мы видели чаек и серых ворон, стоящих на отмели в ожидании волны от проходящего судна, и как только она набегала, птицы начинали бегать по мелководью, выхватывая мелкую рыбешку и беспозвоночных. На мелководье, но уже другом, образовавшемся при спуске воды в волжских шлюзах, на рыбную ловлю с криками слеталось до 30 сизых и озерных чаек. За 4—5 минут рыба была выловлена.

Даже хищные птицы прибегают к помощи техники. А. Н. Формозов еще в 1924 г. наблюдал охоту сокола-чеглока на мелких птиц, в испуге улетающих от проходящего поезда. Сами же пичуги лакомились насекомыми, во множестве поднятыми из травы

мощным потоком, создаваемым поездами вдоль железнодорожного полотна.

У птиц, живущих в городах или других крупных населенных пунктах, меняются не только вкус, места добычи корма, но и время охоты. В ярко освещенных местах сугубо дневные птицы начинают охотиться ночью. На аэро- и железнодорожных вокзалах в ночное время кормятся городской воробей, голубь, большая синица, на освещенных участках портов — чайки, в свете уличных фонарей иногда охотятся на привлеченных светом насекомых скворец и зарянка. Поздней ночью автору этих строк приходилось видеть крякв, которые кормились на прудах ВДНХ СССР там, где они были освещены прожекторами. Искусственный свет начинает играть все большую роль в жизни птиц.

Как мы видели, оказавшись в городе, птицы не избегают контакта с человеком и продуктами его труда, наоборот, не боясь общения, извлекают из новых условий выгоду: получают пищу, убежище, защиту от хищников и т. д. Адаптация птиц реализуется через поведение, которое меняется тем скорее, чем большим изменениям подвергается их среда обитания. Чтобы существовать в больших городах и их окрестностях, в других населенных пунктах, пернатые меняют повадки, искони присущие виду. Как результат приспособления сравнительно быстро возникли «городские» и «технические» повадки, связанные с добычей корма; изменилось поведение в репродуктивный период; птицы стали менее пугливыми, чем в природе (осторожный в природных биотопах скворец в городе подпускает человека буквально на несколько шагов); изменились сроки прилета и гнездования, распределение по биотопам и численность; пернатые стали строить гнезда в необычных местах и из необычного материала.

Столь существенные перемены в экологии и поведении птиц привели орнитологов к выводу, что в городах сформировались отличные от природных городские популяции. Возникли они довольно быстро: в Москве городские популяции обыкновенного скворца, серой вороны, кряквы сформировались в последние полтора — два десятилетия. Отметим, что «городская популяция» — понятие экологическое, и было бы ошибкой считать любую популяцию, обитающую в городе, городской. Нельзя считать городскими московские популяции желтой трясогузки, пеночки-трещотки, пи-

щухи, поскольку они живут в условиях, близких к естественным, заметных изменений ни в поведении, ни в экологии этих птиц нет.

Сейчас многие птицы находят в городах места для постройки гнезд, зимовки. В Москве, например, найдены на гнездовании птицы 110 видов из 180, обнаруженных орнитологами за все время наблюдений. В относительно тихих и богатых водными просторами районах, подобных территории музея-усадьбы Коломенское, мы встречали более 70 видов птиц, среди которых были и очень редкие для города гости — серая цапля, козодой, осоед (они останавливались здесь во время осеннего пролета) и черношейная поганка, которую в зимней Москве до нас никто не видел.

Обилие птиц в городах, пожалуй, не столь удивительно, в их границах оказываются уголки дикой природы с уже сложившейся авифауной. Удивительно другое: птицы остаются жить и даже вновь заселяют городские районы, в которых от условий дикой природы ничего не осталось. В городах пернатые не просто соседствуют с горожанами. По мнению В. Д. Ильичева, птицы становятся одним из компонентов экологии человека, значит взаимоотношения их будут нуждаться в упорядочении, а оно возможно через управление поведением птиц, через формирование экологически целесообразной авифауны города.

Городов становится все больше, разрастаются существующие, лесов и других естественных угодий для птиц — все меньше. И нужно уже сейчас позаботиться о будущем птиц; впрочем, это будет заботой и о нашем собственном будущем.

Познание творчества

Г. С. Батищев



Генрих Степанович Батищев, кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института философии АН СССР. Специалист в области философских проблем человека, субъектного мира личности, творчества. Автор работ: Противоречие как категория диалектической логики. М., 1963; Деятельностная сущность человека как философский принцип (в кн.: Проблема человека в современной философии. М., 1969).

Кто² таков есть, кем может и должен быть, кем по сущности своей призван быть человек в историческом процессе и в космосе вообще, — размышлять об этом невозможно, не вникая в самую сердцевину темы человеческого творчества. Достаточно вспомнить, что люди несут объективно определенную меру ответственности за события истории, ибо они являются не только действующими лицами (исполнителями), но еще также и авторами (со-авторами) своей собственной исторической драмы¹.

НЕАДЕКВАТНЫЕ ПОДХОДЫ К ТВОРЧЕСТВУ: КУЛЬТ ОРИГИНАЛЬНОСТИ И СУБЪЕКТИВИЗМА

Однако прежде всего надлежит позаботиться о строгости самого понятия творчества. Его как многомерный феномен рассматривают с различных точек зрения: психологии, социологии, науковедения, эвристики, культурологии и даже кибернетики. Многим наукам, и уж, конечно, всякому ученому, есть что сказать о творчестве. Но где критерий философской ценности таких суждений?

Хорошо известно, что познание объективно, когда его метод адекватен постигаемому явлению — предмету познания. Ведь нельзя, например, исследовать процессы распада элементарных частиц с помощью социологических тестов, изучать строение клетки с помощью аптечных весов или выводить особенности возрастного развития ребенка и давать рекомендации на этот счет, используя методы экономики, хорошо работающие в своей области. Применительно к творчеству это означает, что его научное познание невозможно при неверном понимании его сути, при применении уплощающих (редуцирующих) или иным образом искажающих эту суть методов. Вопрос о том, каким же должно быть познание творчества, это и вопрос, каким оно быть не должно.

На фоне общей опасности обыденно-житейского употребления слова «творчество», при котором оно претерпевает своего рода инфляцию, «затираание» смысла, делается всего лишь вообще похвальным выражением, почти междометием, существует опасность обывательского «культу творчества», культа оригинальности. Согласно этому представлению, творчество всегда (независимо от его предметного содержания и направленности) крайне заманчиво, увлекательно, экзотично, аван-

¹ См.: Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 4. С. 138.

тюрно. И в то же время ему как бы автоматически гарантирована престижность. Дерзко-блестательное, оно настолько слепит взор, что уже кажется и вовсе неподсудным по кодексу нравственных ценностей: ему все дозволено, все нипочем, и даже то, что уж никак нельзя, если очень по-творчески, то все-таки можно! Творчеству дано право ни перед чем не склонять головы почтительно и благоговейно, дано гордо отвергать дух бережности, уважение традиций, преемство и наследование...

Вред этого представления заключается в том, что даже действительное, полнокровное творчество здесь выступает в таком аспекте, что делается неотличимым от самого пустейшего оригинальничания. К сожалению, это представление гораздо шире распространено, нежели можно было бы подумать, ибо даже успело отложиться в нашем обычном языке: со времен Ренессанса древнее значение слова *originalis* — первоначальный, первичный — отмерло и оказалось вытеснено противоположным ему значением: своеобразный, своеобразный². Так вот и случилось, что на место верности первоисточнику оригиналу была поставлена верность самому же себе. Опасность такого индивидуализма своего рода хорошо понимал А. Пуанкаре, который считал, что наука прежде всего «является коллективным творчеством и не может быть ничем иным; она как монументальное сооружение, строить которое нужно века и где каждый должен принести камень, а этот камень часто стоит ему целой жизни. Следовательно, она дает нам чувство необходимой кооперации, солидарности наших трудов с трудами наших современников, наших предшественников и наших последователей»³.

В марксистской философской традиции стало привычным говорить о творчестве, применяя при его рассмотрении такие категории, как производство, производительные силы, предметная деятельность. И это вполне естественно. Тогда удается зафиксировать по меньшей мере следующие необходимые моменты и аспекты проблематики творчества: продуктивность творческого процесса, причем как в прямом, вещно-результативном значении, так и в значении воздействия этого процесса на самого же автора, на творческого субъек-

та, другими словами — самоизменение человека в творчестве⁴; творчество как свойство, внутренне присущее жизни человека, но опосредствованное опредмечиванием и распределением; всю диалектику деятельности в виде диалектики творчества, при неременном акценте на предметный — пусть взятый в самом широком, зато также и емком смысле, — характер самой способности к ней.

Смысл терминов «распредмечивания» и «опредмечивания» хорошо понятен каждому ученому из собственного опыта. Первый соответствует «обретению» и пониманию той природной и человеческой действительности, которая стоит за формулами, теориями, оборудованием, — той объективной реальности, что им соответствует и в которую они «включены», с которой связаны своими функциональными, заключенными в их устройстве, специфике, т. е. в предметности, возможностями. Второй — облеканию живой действительности (в том числе содержания внутреннего мира) в предметы: идеи, теории, приборы, книги, произведения искусства и т. д. — сначала индивидуальные, а затем, по мере процесса их распределмечивания другими людьми, и общественные.

Процесс опредмечивания-распредмечивания пронизывает многие измерения человеческой жизни, ведь он выражает тот факт, что для человека всякий предмет понятен лишь настолько, насколько видна содержащаяся в нем и за ним реальность. Способность к распределмечиванию тесно связана с творчеством. По свидетельству биографов Ч. Дарвина, великий натуралист говорил о необходимости «вживания» в объект исследования. При анализе развития органов зрения Дарвин ставил себя то в положение наблюдателя некогда происходящих эволюционных процессов, то воображал себя самим эволюционирующим существом (именно таким путем он представил себе картину постепенного преобразования павлиньего хвоста). А. Эйнштейн так, например, рассказывал о главном даре своего друга П. Эренфеста. «Его величие заключалось в хорошо развитой способности улавливать самое существо теоретического понятия и настолько освобождать теорию от ее математического наряда, чтобы лежащая в ее основе простая идея проявлялась со всей ясностью. Эта способность позволяла ему быть бесподоб-

² См.: Дворецкий И. Х. Латинско-русский словарь. М., 1976. С. 712.

³ Пуанкаре А. О науке. М., 1983. С. 510.

⁴ См.: Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 42. С. 262.



Гер и Прометей. [Фрагмент росписи краснофигурного киллика Дуриса, 470—460 гг. до н. э.] Возрожденческий культ гения, культ творчества — прометеизм, по имени титана, выкрывшего с Олимпа огонь для людей, — имел и обратную сторону. Она выразилась в невероятных страстях, пороках и индивидуализме — свойствах, столь характерных для человека Ренессанса.

ным учителем. По этой же причине его приглашали на научные конгрессы, ибо в обсуждения он всегда вносил изящество и четкость. Он боролся против расплывчатости и многословия...⁵

Важно понять, что помимо такого человеческого бытия, которое уже «втянуто» в деятельностный процесс и поддается распредмечиванию, а поэтому может стать содержанием внутренней жизни, есть в человеке также и исторически до-деятельностные (запороговые) уровни бытия, которые не могут или не должны поддаваться распредмечиванию⁶. Исследование их должно быть особо бережным. Именно этот смысл (кроме обычно усматриваемой заботы о всем живом) содержится в эти-

ческом учении А. Швейцера о «благоговении перед жизнью», именно его передает высказывание А. Пуанкаре о назначении научного творчества: «Наука ставит нас в постоянное соприкосновение с чем-либо, что превышает нас; она постоянно дает нам зрелище, обновляемое и всегда более глубокое; позади того великого, что она нам показывает, она заставляет предполагать еще более великое: это зрелище приводит нас в восторг, который заставляет нас забывать даже самих себя, и этим-то он высоко морален»⁷.

В понимании творчества необходимо четко протестовать всем и всяким субъективистским тенденциям, вредность которых выражается в том, что они так или иначе отсекают творческие сущностные способности человека, собственные человечеству как роду, от их наиболее глубокого первоисточника — ценностных ориентаций и устремлений. Замкнутые внутри самих себя, эти способности тем самым лишаются внечеловеческого (природного, экологического, космического и т. д.) мерила. И тогда-то последним и самодостаточным мерилom человек — пусть коллективный, общественный, совокупный человек — провозглашает самого себя: «Человек есть мера вещам — существованию существующих и несуществованию несуществующих»⁸.

Однако на какой бы высокой, но все же относительной и конечной ступени своего развития и совершенствования человек ни стоял, разве он вправе притязать на обладание абсолютным Мерилom, приложимым ко всем бесконечным «вещам»? В истории культуры была целая эпоха, когда подобное субъективистское умонастроение захватило многие слои населения, — эпоха Ренессанса. По выражению А. Ф. Лосева, «возрожденческий человек мыслит себя в первую очередь творцом и художником наподобие той абсолютной личности, творением которой он себя сознавал»⁹. Обратная сторона возрожденческого титанизма проявлялась в принципиальном ин-

⁵ Эйнштейн А. Физика и реальность. М., 1965. С. 114.

⁶ Многочисленные свидетельства участия в творчестве таких содержаний внутренней жизни, которые не поддаются никакому восприятию, никакому распредмечиванию, т. е. содержаниям запороговых, приведены, например, в книге: Адамар Ж. Исследование процесса изобретения в области математики. М., 1970. Психологически такие содержания выступают как бессознательные, точнее, надсознательные. См. также: Симонов П. В. Неосознаваемое психическое: подсознание и сверхсознание // Природа. 1983. № 3. С. 24—31.

⁷ Пуанкаре А. Цит. соч. С. 508.

⁸ Этот знаменитый тезис Протагора цит. по кн.: Диоген Лазертский. О жизни, учениях и изречениях знаменитых философов. М., 1979. С. 375.

⁹ Лосев А. Ф. Эстетика Возрождения. М., 1982. С. 94. Наиболее яркое свое выражение подобное умонастроение получило в так называемом «прометеизме». Ср. критический анализ А. Ф. Лосевым скрябиновского «Прометей» (Лосев А. Ф. Проблема символа и реалистическое искусство. М., 1976. С. 293—294).

дивидуализме, который приводил к стихии безграничного человеческого самоутверждения, к самооправданию в совершенно беззастенчивых преступлениях, неизмеримых страстях и пороках. Вот что может таиться за провозглашением «творческой сущности человека». В своем последовательном, до конца доведенном виде концепция, абсолютизирующая человеческую способность к творчеству, не может не завершаться уже явным самообожествлением своей индивидуальности — антропоизмом.

ДАР БЕСПРЕДЕЛЬНОЙ ОБЪЕКТИВНОЙ ДИАЛЕКТИКИ

Чем же, однако, может и должно быть концептуально выражено приятие и утверждение на самом деле великого значения человеческого творчества? Чем оно должно быть уравновешено, чтобы нам не впасть в противоположную крайность — в нигилистическое отношение к созидательной способности? Прежде всего, следует четко представлять себе несамодовлеющий, несамодостаточный характер любого человеческого творчества: оно питается и живет, черпая предпосылки и энергию своего свершения отнюдь не только из самого себя, и шире — отнюдь не из сферы предметной деятельности. Все то, что человек создает, в свою очередь предполагает вовсе не им созданное и доставшееся ему как дар, причем дар отнюдь не только однолинейно понятой истории культуры или узко понятой природы — дар объективной диалектики вообще. Учась мудрости, разум учится всестороннему, последовательному нравственно-ценностному уважению к неисчерпаемости всякого, в том числе и человеческого бытия¹⁰.

Интимное участие неявного преемства, богатств наследия, «даров» самой объективной диалектики в драматических перипетиях духовных исканий, в процессах преобразующих прозрений, в процессе настоящего открытия настолько непросто, что к осмыслению и переосмыслению этого ведет тоже непростой путь. Труд-

но, но весьма поучительно проследить фазы и ступени этого пути, тем более что они, подобно миру, обладают свойством, вместо того чтобы подсказывать направление к источнику, консолидироваться в нечто самостоятельное, будто бы значимое само по себе.

ТЕХНИЦИСТСКИЙ ПОДХОД К ТВОРЧЕСТВУ

Начнем с узкого методологизма, порой переходящего в настоящий технометодизм, ибо до такой степени может он сужаться и сосредотачиваться на одном лишь вопросе: «Как творить?»... Этот вопрос, превратившись в господствующий и даже единственный, как бы поглощает в себе вопросы ценностные, целевые, онтологические — «Во имя чего?», «Зачем?» «Что же есть творчество?». Так формируется иллюзия, будто технология, на деле занятая описанием объектно-вещевых предпосылок, различных привходящих условий и сопровождающих факторов творчества, разного рода его «механизмов» (на деле подчиненных) имеет право притязать на то, чтобы быть не меньше нежели «теорией творчества».

В XX в. учебные заведения в значительной степени перестроились на выпуск технических специалистов. При сужении курсов гуманитарных дисциплин научная и особенно научно-техническая подготовка способствовала той бестрепетной смелости, с которой работники самых различных областей знания и технического умения, не ведая ни малейших сомнений в правомерности своих попыток, отправились на штурм заманчивой вершины «творчества». Так появилось на свет множество руководств по творчеству. Деятели различных отраслей искусства («лирики»), не желая отставать от дерзких «физиков», также стали переходить от биографически-дневниковых впечатлений о своей работе к более обобщенному их изложению: от описаний того, как «у меня» происходило творчество, — к тому, как вообще оно должно происходить всегда и всюду, к тому, как надо творить. А это — уже нечто вроде «теории»...

Поистине же большие художники и крупные ученые, чем шире и глубже их культура, тем с меньшей решимостью пускались и пускаются на подобные предприятия и тем большей осторожностью отличаются в своих высказываниях об общей «природе» творчества как такового. Характерно, что все они отмечали губительное воздействие на творчество разрыва

¹⁰ Ср.: «Многократно возвращаясь к основному началу нашей духовной деятельности, к тому, что вызывает наши мысли и поступки, невозможно не заметить, что значительная часть их определяется чем-то таким, что нам отнюдь не принадлежит, и что самое хорошее, самое возвышенное... из происходящего в нас вовсе не нами производится» (Чаадаев в П. Я. Неизданные «Философские письма» // Литературное наследство. М., 1935. С. 24).



Изучение электрической активности мозга при решении проблемных задач. Науки исследуют творчество в разных аспектах. Психология изучает механизмы протекания творческих актов и их переживание человеком, эвристика систематизирует различные способы решения проблем. Философию же интересует сущность творчества. В любых научно-исследовательских работах важно «не потерять» эту сущность, не подменить ее. Всегда следует отдавать отчет в том, какой аспект проблемы творчества изучается, каков вклад этого изучения в постижение творчества в целом.

гуманитарной и естественнонаучной культур и благотворное — их гармоничного союза. Вот как писал об этом М. В. Ломоносов: «Учением приобретенные познания разделяются на науки и искусства. Науки подают ясное о вещах понятие и открывают потаенные действия свойств и причины; искусства к приумножению человеческой пользы оные употребляют. Науки довольствуют врожденное и вкорененное в нас любопытство; искусства снисканием прибытка увеселяют. Науки искусствам путь указывают; искусства происхождения наук ускоряют. Обоим общему пользою согласно служат»¹¹.

Беда узкого методологизма или техно-методизма заключается в том, что его

горизонт скован рамками одностороннего профессионализма. Он не оставляет почвы для настоящей, развернутой проблематизации творчества. Вместо этого суть творчества кажется его представителям чем-то само собой разумеющимся. Отсюда — неспособность видеть в творчестве что-либо загадочное... Всепоглощающее значение вопроса «Как?» («Каким способом?») сказывается в том, что само творчество сводится ко всему лишь более эффективному способу добиваться заранее установленных, предудказанных результатов. Тогда оно перестает быть внутренним атрибутом человеческого субъектного бытия, его сущности.

ОБЪЕКТНО-ВЕЩНЫЙ ПОДХОД К ТВОРЧЕСТВУ

Когда постижение творчества освобождается от утилитарной заданности и от редукционистских рамок, только тогда делается возможным его адекватное познание. Однако первая — логически и исторически первичная — форма проблематизации творчества ограничена образом объекта-вещи¹². В мире объектов-вещей по

¹¹ Цит. по кн.: Слово о науке. М., 1978. С. 92.

¹² К. Маркс четко разграничивал термины «опредмечивание», «отчуждение» и «овеществление». Если первый относится к всеобщему

определению нет и не может быть никаких ценностных измерений или качеств. Тогда и сам процесс созидания оказывается по сути своей всецело объектно-вещным, вполне бессубъектным! Получается, что уже в силу постановки задачи — познать творчество объективно и только объективно (которая незаметно подменяется: познать творчество как объект-вещь) — мы оказываемся вынуждены со всею строгостью провести разграничительную линию, по одну сторону которой находит себе место собственно творчество, а по другую сторону — субъект со всеми его возможными атрибутами и свойствами. Получается, что именно желая познать творчество объективно в его отношении к субъекту творчества, мы тем самым познаем его отнюдь не в качестве субъектного атрибута! Однако же не следует забывать, что такое расторжение творческого процесса и его субъекта есть следствие сугубо особенного подхода, объективистской парадигмы, к сожалению распространенной и всякий раз обрекающей на обедненное представление о предмете объективного исследования. Но эта парадигма хотя и в негативной форме содержит конструктивные моменты, поскольку редукция всякого объективного бытия, всякого предмета к вещи есть в то же время некий способ избежать субъективистского плена. Ведь именно в тематике творчества особенно велик риск подменять¹ проблемный поиск и решения, действительно обоснованные и объективно выверенные, теми или иными яркими, впечатляющими проявлениями творчества.

Вообще душевная и внутренняя духовная жизнь предстает невообразимо сложной и исполненной всяческой разноголосицы, за которой отыскать объемлющую ее гармонию стоит немало труда. Все это страшит воинствующего объективиста — приверженца объективистской парадигмы — и отталкивает своей многозначностью, запутанностью. Лишенный минимального доверия даже к проявлениям языка своей собственной души, он старается убежать от всего этого прочь и с надеждой устремляет свои взоры на однозначные внешние вещи, на которых только и может быть запечатлено нечто истинное

для него. Справедливо лишь то, что проявления творчества — даже самые замечательные — во внутрисубъектной жизни индивида сами по себе не должны приниматься за нечто самодостовверное или как привилегированный феномен, не подлежащий критическому анализу. Но на этом и кончается наше согласие с теми, кто приемлет объективистски-редукционистскую парадигму. Строжайшая объективность в нашем подходе к познанию творчества! — Да. Однако же отнюдь не ее искаженное выражение, которое огрубляет и рубит самое для нас дорогое — духовно-ценностный мир субъекта. Короче говоря, нам требуется не объективистская объективность.

ТВОРЧЕСТВО: ДЕЯНИЕ ИЛИ АКТИВНОСТЬ?

Что сравнительно легко уразуметь, так это невозможность постигнуть творчество в качестве процесса, **вызываемого извне**, подобно тому как звучание фортепиано вызывается ударами по клавишам. Композитор не есть инструмент, вынужденный творить под принудительным давлением (частный случай этого — подкупленность корыстью через посредство «интереса»¹³). Творчество ничем не вынуждаемо и не подкупно. Гораздо труднее увидеть ограниченность понимания творчества в качестве безразличного к остальному миру процесса, идущего **изнутри во вне**, т. е. как субъективистское «самовыражение». Последнее подобно спонтанному самодействию «активного» фортепиано, которое звучит якобы по своему собственному, чисто внутреннему побуждению. Рассмотренная выше объективистская парадигма, согласно которой творчество есть всецело дитя стимулов, порождение нужды, имеет для себя адекватную формулу: внешний стимул → реакция. Здесь же мы имеем дело с системой, которая сама себя стимулирует и которая, обретя достаточно возросшую самостоятельность и сложность организации, побеждает действие внешних стимулов своим опережающим действием на них изнутри.

Такая модель творчества далека от того истинного духа созидательства, который рождается из предельно чуткой открытости богатейшему многообразию раз-

моменту жизнедеятельности, то последний — к ее вырожденному аспекту, когда предмет познания и деятельности вообще берется в утилитарном плане — как объект-вещь. Такое положение дел типично в капиталистическом обществе потребления, с характерным для него отчуждением.

¹³ «... Насилие надо мной совершает... мой интерес ...» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 46. Ч. 1. С. 192).



Поэзия. [Гравюра М. Раймонди по композиции Рафаэля, 1510—1515 гг.] Каждый знает, что творчество неотделимо от вдохновения. На протяжении долгого времени считалось, что вдохновение приносится творцу музами, Пегасом, Аполлоном, Эросом. Этот взгляд выражал в искаженном виде тот факт, что творчество не возникает только в субъекте, как изолированном индивиде, но преемственно связано с ценностями культуры.

народных «звучаний» действительности. Способность отдать всем этим «звучаниям» отзывчивые струны своей души — вот чего не ведает, вот к чему не пригоден сторонник подобной модели. Творчество живет вовсе не навязыванием своего мерила всем вещам, а, совсем напротив, самоотверженным приятием инаковых мерил внутрь себя. Как прекрасно сказал А. Швейцер об И. С. Бахе: «Искусство объективного художника не безлично, но сверхлично... Все художественные искания, стремления, желания, порывы и блуждания прежних, равно как и современных ему поколений, сосредоточились в нем и творят через него»¹⁴.

Переориентация от объективистской внешней вынужденности творчества к субъективистскому самовыражению «творческого» существа при всей ее кажущейся радикальности на деле отнюдь не радикальна: она оставляет нас на той же самой почве. Ибо вместо пассивного, извне стимулированного процесса мы получаем активный, «взбунтовавшийся», но столь же (если не более) закрытый, глухой к миру процесс. Это, следовательно, столь же объектно-

вещный процесс, безразличный к «звучанию» всего инородного, более сложного, своеобразно конкретного и ценностного. Поскольку же подобное понимание творчества означает искаженное, неверное представление о творческих (сущностных) силах человека, его негативные следствия сказываются во многих сферах жизни. А. А. Ухтомский, замечательный советский физиолог, известный также как глубокий мыслитель по общекультурным проблемам, писал по этому поводу: «Каждый из нас — только всплеск волны в великом океане, несущем воды из великого прошлого в великое будущее! А бедствие индивидуализма и рационализма в том, что отдельная волна начинает мыслить себя исключительной мировой точкой, около которой вращается и прошлое, и настоящее, и будущее, и вращается так, как вздумается этой мировой точке. Ясно, что несчастная мировая точка, воображавшая, что мир вращается около нее и с нее начинается, заседает в спокойном кабинете в необыкновенной куриной близорукости!»¹⁵.

¹⁴ Швейцер А. Иоганн Себастьян Бах. М., 1965. С. 5.

¹⁵ Ухтомский А. А. Письма // Пути в незанятое. Сб. 10. М., 1973. С. 399.

Дело вовсе не в том, чтобы противопоставлять пассивности своемерную активность или, наоборот, не в том, чтобы пытаться как-то дополнить их друг другом, дабы исправить недостатки и пороки каждого. Дело в том, чтобы выйти вовсе за пределы их противоположности и объединяющей их общей почвы, — выйти к пониманию творчества как по самой сути своей представляющего собою отношение, притом отношение особенного рода. Творческий субъект объективно включен и еще сильнее включает себя в связи с другими: с дарителями наследия и с адресатами творческой устремленности, следовательно, в междусубъектные отношения. Но эта междусубъектность для творчества составляет нечто гораздо большее, нежели контекст и предпосылку, — она составляет суть самой созидательной способности.

ТВОРЧЕСТВО КАК ОТНОШЕНИЕ

Будучи именно отношением между субъектами, творчество, конечно же, есть и деяние. Однако не следует пытаться мыслить себе творчество просто-напросто как частный «случай» деятельности вообще. Обычно видят в деятельностном процессе прежде всего и главным образом его опредмечивание, а не менее существенный момент этого же процесса — распределение — как бы уходит или отодвигается в тень. Более того, и само опредмечивание берется и толкуется суженно. Отсюда взгляд на деятельность и на ее опредмечивание исключительно с точки зрения внешней результативности: о деятельности судят, что она такое есть, только по отдельным от нее результатам и по отдельно зафиксированным ее «следам». Однако на самом деле деятельность всегда опредмечивается и в столь же объективно существующей структуре самого субъекта, в его внутренней жизни, каковы они есть независимо от сознания и воли. Изменяя и преобразуя окружающие предметы, человек изменяет и преобразует самого себя¹⁶, возвращая и совершенствуя свои способности, или, наоборот, притупляя их (если таков характер его труда — отчужденный, овещняющий и т. п.).

То, что творчество опредмечивается и делает простые вещи носителями и воплощениями своего динамизма — произведениями, это тоже выражает его социальный, культурно-исторический характер, его

устремленность к другим субъектам. Даже когда с произведением обращаются так, как будто оно есть просто полезная вещь, все-таки ему внутренне присуща направленность к другим людям, потенциально — к неограниченному множеству других людей. Существенно то, что также и внутреннее опредмечивание, разумеется, расширяющее и обогащающее возможности опредмечивания во внешних результатах, само по себе не замкнуто в пределах обособленного индивида. Всякое истинное творчество направлено к каким-то адресатам, так что тем самым **все человеческое бытие в целом**, а отнюдь не только его фрагментарное выражение в отдельных результатах, проникнуто векторами смысловой устремленности к другим субъектам. И если вообще человеческая жизнь адресована, то жизнь творческая адресована и устремлена **универсально**. Никакие превращенные формы, никакие превратные образы не могут заслонить и погасить этого глубинного жизненного устремления!

Чрезвычайно важно увидеть и осмыслить культурно-исторический конкретно-социальный, именно междусубъектный характер другого полюса творчества — распределения, а еще важнее — творчество как отношение. «Ибо ведь и геометрия, и механика, и электромагнетизм, и экономика, — писал А. А. Ухтомский, — все это произведения человеческой жизни, общения человеческих лиц между собою — человеческого слова, быта и истории!»¹⁷

Через свое бытие среди других и ради других, через многообразнейшие узы взаимной со-причастности и исторической преемственности черпает человек начала и внутренние импульсы творческих деяний в конечном счете — или, лучше тут сказать, в изначальном счете — в **беспредельной объективной диалектике Вселенной**, в тенденции и потенциях универсальной космогенеза¹⁸. Человек всякий раз распределчивает не какую-то изолированную и нейтрализованную вещь, взятую безотносительно к культурно-историческому процессу, но предмет, включенный в целую иерархию исторических контекстов. Поэтому бесчисленные другие субъекты образуют универсальный пра-коллектив со-авто-

¹⁶ См.: Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 46. Ч. 1. С. 483—484.

¹⁷ Ухтомский А. А. Цит. соч. С. 402.

¹⁸ Анализ и подробное обоснование изложенной здесь позиции см. в работе: Батищев Г. С. Диалектика творчества. М.: ИФ АН СССР, 1984. Деп. в ИНИОН. 1.11.84. 18609.



Мир детства, мир непрестанного творчества. В первые пять лет жизни ребенок живет необычайно интенсивно и обретает чрезвычайное богатство ориентаций навыков, умений (по сравнению с последующими годами). Для детей каждое постижение — это созидание, впервые происходящее открытие. Неудивительно поэтому, что за последние годы существенно возрос интерес исследователей творчества именно к миру ребенка.

ров, т. е. со-творцов для каждого вздумчивого человека-творца. Через преемственное наследование им (со-творцам), всем вместе взятым, через приобщение к ним человек обретает и свою созидательную способность. Искания и открытия, мучительным трудом добытые истины-ценности, новые возможности и перспективы, новые измерения бытия, весь опыт прошлых поколений оживает и лишь продолжает свою многовековую работу в нынешнем акте творчества.

Можно со всей категоричностью утверждать, что никакого абстрактного творчества в действительности нет. Есть же только диалектическое взаимопроникновение наследующего творчества и творческого наследия. В этой истинно диалектической паре каждая из противоположных сторон постоянно переходит в другую и порождает ее изнутри самой себя. Тем не менее позволительно поставить также и вопрос об абсолютно первичном по отношению к этому единству отношении человека к миру. Таковым отношением является вовсе не бытие человека в центре Вселенной и на вершине всего мироздания в качестве предельно совершенного существа, а, напротив, гораздо более скромное, но зато и более ответственное положение человека как порожденного, т. е. как дитя

Вселенной. Это фундаментальнейшее, кардинальнейшее обстоятельство и определяет — в противовес ложному тезису о творении человеком самого себя — первичность наследования человеком главных условий и самой возможности своего собственного бытия у беспредельной и неисчерпаемой объективной диалектики...

СПЕЦИФИКА И СТРУКТУРА ПОДЛИННО ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Постоянное, буквально на каждом шагу сказывающееся, значение наследования и преемственности состоит в том, что единственно возможным «топливом» для пламени созидания служат специфические проблемные задачи, или творчески-проблемные ситуации. Отличительная особенность каждой из этих задач, или ситуаций, состоит в их многомерности и синтетической целостности, принадлежности ко всем или многим областям культуры. Однако в настоящее время широко распространена привычка думать, что неотъемлемым свойством всякой задачи вообще (и творческой в частности) является принадлежность ее к какой-нибудь одной сугубо определенной области культуры. Причем принадлежность исключительная: либо к науке, либо к нравственности, либо к искусству. Более того, и внутри каждой области задача, как полагают, должна иметь еще немало строго локализирующих ее. Такие представления всегда вызвали обеспокоенный отпор у наиболее крупных творцов науки и искусства. Широко известны высказывания А. Эйнштейна о роли музыки и литературы в научном творчестве. Еще в середине прошлого века А. И. Герцен писал по поводу другого аспекта этой же проблемы: «...совершенная отрезанность естествоведения и философии часто заставляет целые годы трудиться для того, чтобы приблизительно открыть закон, давно известный в другой сфере, разрешить сомнение, давно разрешенное: труд и усилия тратятся для того ... чтобы проложить тропинку там, где есть железная дорога. Вот плод раздробления наук...»¹⁹

На самом деле, все столь хорошо ограниченные и узколокализованные задачи представляют собой всего лишь фрагменты, всего лишь осколки той целостности, которую образует собою задача истинно творческая. Последняя, взятая в ее неущербном виде, пронизывает и объем-

¹⁹ Цит. по кн.: Слово о науке. С. 172.

лет все измерения культуры. Другими словами, она означает проблематизацию всеохватывающую, на всех уровнях одновременно: единичном, особеном, всеобщем. Она в одно и то же время и задача познавательная, нравственная и художественная, и задача общения. Ее предметное содержание по всем этим измерениям раскрыто, но облачено в готовые, окончательно затвердевшие формы, но находится в состоянии напряженного борения, диалектической противоречивости, а поэтому несет в себе заранее не предусмотренные возможности.

В каждой творчески-проблемной задаче явлена незавершенность всей всемирной действительности, ее неокончателность, неисчерпаемость ее глубинных возможностей и скрытых потенций. Тем самым действительность образует собою бесконечное поприще для человеческого творчества, для незавершимого и в этом смысле «абсолютного движения становления». Никакое исторически относительное мерило, выработанное внутри самой же человеческой истории, не может быть и не должно быть налагаемо как готовый «масштаб» («заранее установленный») на все, в том числе непредвидимые возможности грядущего творчества²⁰. Однако означает ли это, что созидательные устремления людей — пусть не индивидуальные, а социально-коллективные, общечеловеческие — находят себе высшее мерило и оправдание внутри общественной истории людей, в пределах земных условий? Отнюдь нет! Это был бы настоящий антропоцентризм. Человеческое творчество, хотя бы и при всей его социальной опосредованности, вовсе не самооправдано. На самом деле впереди его устремлений и над ним всегда есть и всегда ему ненавязчиво пред-стоит поистине абсолютное мерило для всех возможных его инициатив и смелых предприятий — мерило беспредельной объективной диалектики Вселенной.

В ходе исторического процесса ответственность человека и за конкретно-ситуативную направленность, и за стратегическую устремленность, за все прямые и косвенные последствия его творчества все больше возрастает, и благодаря все большему динамизму и сложной переплетенности исторических событий, эта ответственность будет возрастать еще более интенсивно. Острейшие глобально-экологические проблемы современности требуют от

нас такой перенастройки всех наших творческих способностей, которая ориентировала бы их на умение «прислушиваться» к природе и максимально уважать ее собственные тенденции. Сам стиль созидания должен стать экологически адекватен. Человеческое творчество не только не самооправдано, но должно находить себе оправдание в своем служении, в своей бескорыстной посвященности тем ценностям, которые выражают призвание человека, его миссию творческого сотрудника всех гармонических тенденций космической эволюции. В нравственном мире каждой личности творческие способности должны быть поэтому поставлены под строгий ценностный контроль.

Исторически также будет возрастать взаимная зависимость между пробуждением созидательных потенций разных индивидов. Творчество станет все более заразительным. И неизмеримо вырастет в своем значении и влиянии на «взрослый» мир такая своеобразная, все еще крайне недостаточно изученная, но в высшей степени насыщенная творчеством сфера жизни, или ее стадия, какой является детство. Здесь нас ждут удивительные открытия и обретения, ибо скрытые возможности детства и драгоценные качества детской души (такие как безынертность опыта и готовность встречать мир каждый день как бы заново), как можно надеяться, существенно помогут совершенствованию человеческой личности в ее последующих более поздних возрастах. Перефразируя знаменитые слова К. Маркса²¹, мы имеем право сказать: дело идет к тому, чтобы творческое развитие каждого стало условием и смыслом творческого развития всех.

²¹ Там же. Т. 4. С. 447.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Этика и философия / Философия и религия. М.
Ухтомский А. А. ПИСЬМА // Пути в неизвестное. Сб. 10. М.: Советский писатель, 1973.

Вернадский В. И. О НАУЧНОМ МИРОВОЗЗРЕНИИ // Пути в неизвестное. Сб. 6. М.: Советский писатель, 1966.

Давыдов Ю. Н. ЭТИКА ЛЮБВИ И МЕТАФИЗИКА СВОЕВОЛИЯ: ПРОБЛЕМЫ НРАВСТВЕННОЙ ФИЛОСОФИИ. М.: Молодая гвардия, 1982.

Бахтин М. М. ЭСТЕТИКА СЛОВЕСНОГО ТВОРЧЕСТВА. М.: Искусство, 1979.

²⁰ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 46. Ч. 1. С. 476.

«Свое» или «чужое»!

Молекулярные основы биологического распознавания

А. Я. Кульберг



Александр Яковлевич Кульберг, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией иммунохимии Института эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалея АМН СССР. Область научных интересов: строение и функция иммуноглобулинов (антител), рецепторы иммунокомпетентных клеток, механизмы регуляции иммунного ответа. Автор ряда учебных пособий и монографий по проблемам иммунохимии и молекулярной иммунологии.

Можно ли представить себе живое существо, лишенное органов чувств, способности выбирать необходимое ему питание, избегать опасных для жизни факторов внешней среды? Такой организм обречен на гибель, которая наступает тем быстрее, чем менее подготовленным он окажется к анализу своего окружения, будь то примитивная амeba, обитающая в каком-либо водоеме, или сложно устроенный многоклеточный организм.

Известно, что клетка воспринимает сигналы из внешней среды в основном с помощью встроенных в клеточную мембрану белков — рецепторов (от лат. *receptio* — восприятие). Адекватность реакции клетки на тот или иной сигнал будет тем выше, чем точнее ее рецептор сможет оценить характер сигнала. Следовательно, задача клеточных рецепторов — воспринимать поступающие из внешней среды сигналы с высокой степенью избирательности и как можно реже ошибаться в оценке их природы. В силу высокой специфичности распознавания, присущей в принципе рецепторам, их разнообразие должно соответствовать многообразию сигналов, понимание которых совершенно необходимо клетке для ее существования.

Как для свободно живущего одноклеточного организма (амебы, например), так и для индивидуальной клетки сложного

многоклеточного организма сигнальный смысл имеют разнообразныe химические вещества, находящиеся в окружающей клетку среде. Среди них могут быть и питательные вещества, и соединения, регулирующие обмен веществ в клетке, такие как гормоны, витамины и другие медиаторы. Но в среде, окружающей клетку, кроме этих полезных веществ присутствуют также соединения с токсическими свойствами, имеющие структурное сходство либо с питательными веществами, либо с теми или иными регуляторами клеточного обмена. Эти вещества представляют для клетки наибольшую опасность, поскольку они могут быть ошибочно приняты соответствующими клеточными рецепторами за полезные, поступят в клетку и вызовут их гибель. Некоторым из них даже нет необходимости проникать в клетку — достаточно лишь заблокировать соответствующий рецептор и помешать тем самым клетке получать нужную ей информацию.

Из всего сказанного следует, что набор рецепторов, которым должна обладать та или иная клетка, определяется в первую очередь ее потребностями в питательных и регуляторных веществах и зависит в конечном счете от особенностей биологии этой клетки: ее происхождения (филогенеза) и характера индивидуального развития (онтогенеза). Поэтому каждая клетка,

как живущая свободно, так и функционирующая в сообществе других клеток, имеет свой набор рецепторных белков. Часть из них может быть сходной или даже идентичной у самых разнообразных клеток, другая — характерной только для данной клетки.

Глубокое изучение строения, специфичности, функциональных свойств клеточных рецепторов начато лишь в последние годы, и многие важные результаты в этой области современной биологии только предстоит получить. Одна из принципиальных, еще не решенных задач состоит в том, чтобы установить, каковы структурные основы специфичности рецепторов, каково строение и происхождение генов, определяющих из специфичность.

СТРУКТУРА РАСПОЗНАЮЩИХ МОЛЕКУЛ

При всем многообразии рецепторных белков, продуцируемых разными клетками, все они могут иметь сходные по строению участки (так называемые активные центры), которые отвечают за их важнейшую функцию — распознавание тех или иных веществ. При этом другие участки их молекул (вне активных центров) будут существенно отличаться по своей структуре. Такая организация рецепторов предполагает существование двух групп генов, кодирующих целую молекулу: одна из них отвечает за синтез участков, лежащих вне активных центров, другая — унитарная по своему происхождению и принципам структурной организации — за синтез активных центров самих разнообразных по специфичности рецепторов.

Исходя из огромного разнообразия клеточных рецепторов по их специфичности, нетрудно представить себе, какой объем работы нужно проделать, чтобы выявить строение активных центров рецепторов хотя бы к некоторому количеству лигандов, т. е. к структурам, которые связываются с клеточными рецепторами (от лат. *ligo* — привязываю). Такой анализ невозможен по существу «вслепую», без определенной гипотезы относительно возможных способов организации активных центров клеточных рецепторов.

Большие возможности для построения гипотезы открываются при сравнительном анализе активных центров рецепторов и активных центров антител, направленных к одному и тому же лиганду, будь то белки, аминокислоты, полисахариды или

низкомолекулярные соединения. У читателя может возникнуть вопрос: что же общего между клеточными рецепторами и антителами? Во-первых, и те, и другие имеют одинаковую химическую природу: все они белки. Для более подробного ответа нам необходимо вспомнить, что представляют собой антитела. Сегодня об их строении и функции известно достаточно много.

Антитела вырабатываются клетками иммунной системы — плазматическими клетками, прямыми потомками В-лимфоцитов, в ответ на чужеродное вещество (антиген), попавшее в организм. Они принадлежат к одной группе белков сыворотки крови — к иммуноглобулинам (их насчитывается пять классов и несколько подклассов). Все эти белки имеют одинаковый план строения: каждая молекула состоит из двух легких (молекулярная масса 22 тыс. Д) и двух тяжелых (молекулярная масса 50—70 тыс. Д) цепей, которые попарно соединены нековалентными связями и дисульфидными мостиками. И легкие, и тяжелые цепи сформированы в пространстве в виде достаточно автономных по структуре участков — доменов. Причем в так называемых переменных N-концевых доменах (со свободной аминокислотной последовательностью полипептидной цепи у различных по специфичности антител неодинакова даже в пределах одного класса иммуноглобулинов, а С-концевые, или константные, домены (со свободной карбоксильной группой — COOH^-), напротив, у иммуноглобулинов определенного класса устроены одинаково¹.

Существование такой двойственной структуры (т. е. сочетание в одной молекуле белка вариационной и константной частей) обуславливается тем, что за синтез одной молекулы иммуноглобулина отвечают две группы генов: так называемые переменные (V-гены) и константные (С-гены). Мы не будем здесь углубляться в сложную область иммуногенетики. Заметим лишь, что все многообразие антител, синтезируемых в организме, обеспечивается сложной организацией генов иммуноглобулинов, кодирующих их активные центры, и, главным образом, многообразием V-генов². Представить многокомпонент-

¹ Кульберг А. Я. Молекулярная иммунология. М., 1985. С. 286.

² Сидорова Е. В. Гены иммуноглобулинов // Природа. 1982. № 11. С. 34—42.

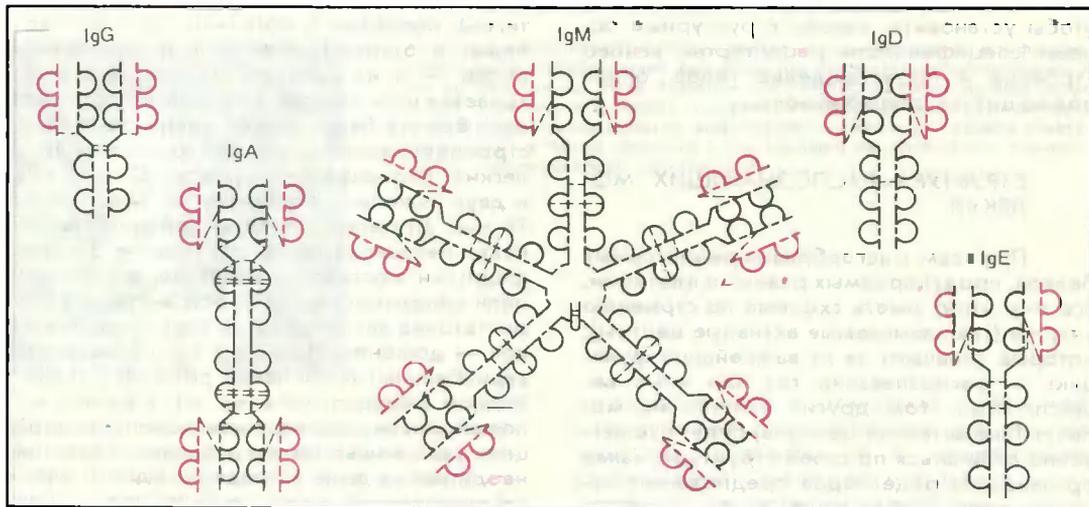
ность этих структур нам помогут приведенные здесь схемы.

Важно отметить, что в молекуле иммуноглобулина (антитела), равно как и в молекуле клеточного рецептора, нас интересует структура только их активного центра, т. е. того участка молекулы, который непосредственно отвечает за связывание лиганда.

Не обсуждая принципов организации активных центров иммуноглобулинов, подчеркнем, что их специфичность определяется особенностями строения так назы-

или иной лимфоидной клеткой, гипервариабельные районы уникальны по своей первичной структуре, т. е. по аминокислотной последовательности. Они отличаются от аналогичных районов антител другой специфичности и даже от антитела той же специфичности, но синтезируемого другой клеткой.

Таким образом, даже к простому химическому соединению или антигенной детерминанте, например к таким широко используемым в иммунохимии соединениям, как динитрофенильная группа или



Молекулярная структура различных классов иммуноглобулинов человека: IgG, IgA, IgM, IgD, IgE (иммуноглобулины других биологических видов построены аналогично). Все иммуноглобулины имеют четвертичную структуру, т. е. состоят из нескольких полипептидных цепей — легких (показаны цветом) и тяжелых. Легкие цепи по своему строению идентичны у иммуноглобулинов всех классов; тяжелые, напротив, имеют свои характерные особенности. Пунктиром показаны дисульфидные связи, объединяющие полипептидные цепи в молекулы.

ваемых гипервариабельных районов пептидных цепей (тяжелой и легкой), которые входят в состав вариабельных доменов молекулы соответствующего белка антитела. Как в легкой, так и в тяжелой цепях имеется по три гипервариабельных района, разделенных консервативными участками аминокислотной последовательности. Строение этих участков крайне устойчиво в эволюционном отношении: они по существу одинаковы у разных антител, продуцируемых данным организмом. В то же время у каждого антитела, продуцируемого той

арсениловая кислота, может существовать целый спектр антител с характерным строением гипервариабельных районов. Если сравнить их строение у семейств антител к динитрофенильной группе и антител к арсениловой кислоте, то окажется, что между семействами антител различия будут значительно больше, чем внутри каждого из них. Но при этом консервативные участки антител самой разной специфичности, как уже упоминалось, очень сходны по своему строению. Результаты рентгеноструктурного анализа в сочетании с другими методами показали, что внутри активного центра лиганды реагируют именно с гипервариабельными районами, в то время как консервативные участки образуют каркас активного центра.

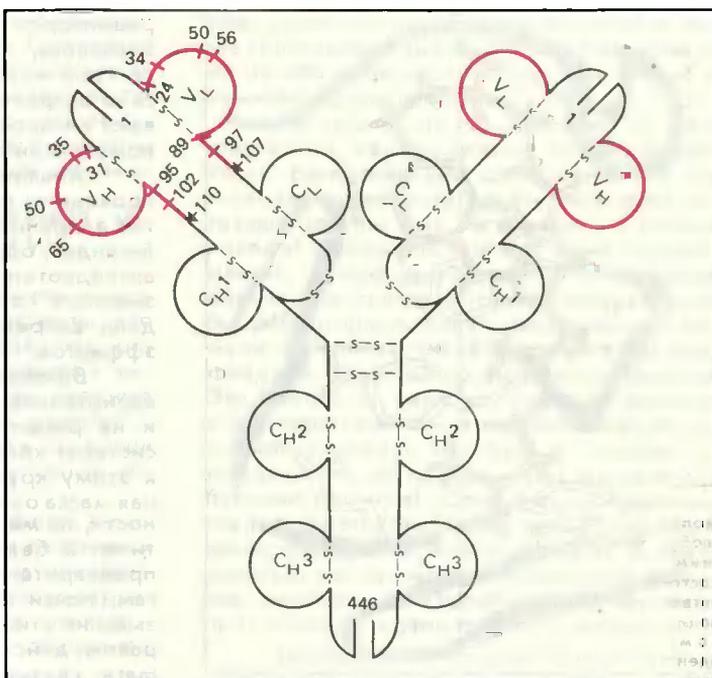
ГИПОТЕЗЫ И ФАКТЫ

Но вернемся к началу предыдущей главы, где был поставлен вопрос: что же общего между клеточными рецепторами и антителами? Наш рассказ о строении ак-

тивного центра антител был необходим, чтобы найти сходство между разными классами белков. Принцип организации генов иммуноглобулинов, обеспечивающих синтез огромного количества белков, направленных против самых разнообразных веществ, навел нас на мысль о возможном сходстве в строении активных центров антител и клеточных рецепторов. Еще в 1975 г. нами была высказана гипотеза, согласно которой активные центры рецепторов самых различных клеток построены по тому же плану, что и активные центры антител,

в недифференцированных клетках изолированы в той же хромосоме от генов, кодирующих остальные, константные части иммуноглобулинов. Мы предположили, что передаваемые по наследству V-гены могут работать в нелимфоидных клетках в ассоциации с генами, которые отвечают за синтез структур, не имеющих родства с константными участками иммуноглобулинов. Белки, синтезируемые при участии V-генов, принадлежат к числу рецепторных, и их функция сводится к рецепции гормонов, витаминов и других индукторов кле-

Схема молекулы иммуноглобулина IgG, содержащегося в наибольшем количестве в сыворотке крови. Каждая из полипептидных цепей состоит из нескольких доменов, стабилизируемых внутренними S—S-связями. Вариабельные домены легкой [V_L] и тяжелой [V_H] цепей образуют активные центры молекулы (цветные области). Цифрами обозначены номера аминокислотных остатков, ограничивающих каждый гипервариабельный район. Границы вариабельных участков указаны стрелками.



а гены, их кодирующие, имеют единое эволюционное происхождение³.

Эта гипотеза основывалась на двух известных уже тогда принципиальных фактах. Во-первых, активный центр антитела, точнее, образующие его участки полипептидной цепи, отличаются полной структурной автономией. Это значит, что от молекулы антитела можно отщепить фрагмент, составляющий менее 1/5 части всей молекулы, и он полностью сохраняет свою активность (это и есть активный центр антитела). Во-вторых, гены, отвечающие за структуру вариабельных доменов (V-гены),

точного метаболизма (обмена), т. е. к функциям клеточных рецепторов. Одновременно допускалось, что в одной и той же нелимфоидной клетке (в отличие от лимфоцита) могут функционировать различные варианты V-генов, а значит, одна клетка может синтезировать большое количество рецепторов различной специфичности.

Один из подходов к экспериментальной проверке изложенной гипотезы связан с применением иммунологических методов. Дело в том, что к различным частям активного центра антител можно получать специфические анти-антитела: так называемые антивариотипические антитела, реагирующие только с консервативными районами вариабельных доменов самых разнообразных по специфичности антител,

³ Кульберг А. Я. Иммуноглобулины как биологические регуляторы. М., 1975. С. 51—53.

и антиидиотипические антитела, реагирующие со структурами активных центров антител, связывающих данный лиганд.

Таким образом, с помощью этих двух видов анти-антител (антиидиотипических и антивариотипических) можно попытаться установить, имеются ли в активных центрах клеточных рецепторов структуры, подобные таковым в активных центрах антител. При этом антиидиотипические антитела используют для сравнения активных центров антител, распознающих одни и те же лиганды, а антивариотипические — для об-

нелимфоидных клеток, т. е. клеток, не продуцирующих иммуноглобулинов. Так, в опытах, где в качестве антигена использовали антитела к инсулину, были получены анти-антитела (антиидиотипические), которые реагировали с активным центром антител против инсулина и поэтому препятствовали связыванию этого гормона. Затем этими анти-антителами обрабатывали жировые клетки, имеющие на своей поверхности рецепторы для инсулина; в итоге клетки перестали связывать инсулин. Такой результат мог означать, что антитела против антител к инсулину конкурентно блокируют активные центры клеточных рецепторов к этому гормону. Более того, оказалось, что такие анти-антитела сами по себе имитируют некоторые биологические эффекты инсулина: например, усиливают в жировых клетках метаболизм α -аминомасляной кислоты⁴.

Аналогичные эксперименты были проведены с использованием антител против алпренола — аналога адренергических лигандов, одного из нейромедиаторов. Эти антиидиотипические антитела также связывались со своими рецепторами и обладали алпренолоподобным биологическим эффектом⁵.

Влияние антиидиотипических и антивариотипических антител испытывали также и на рецепторах к первому компоненту системы комплемента — $C1q$ ⁶. Рецепторы к этому крупному белку (его молекулярная масса около 400 тыс. Д) имеются, в частности, на макрофагах. Антитела против антител к белку $C1q$ (антиидиотипические), предварительно добавленные к макрофагам, почти полностью подавляли его связывание этими клетками. Аналогичным образом действовали на рецепторы макрофага, связывающие $C1q$, и антивариотипические антитела, реагирующие, как мы уже знаем, с консервативными участками вариабельных доменов молекулы иммуноглобулина⁷.

Кроме этих результатов, полученных с помощью иммунологических методов,

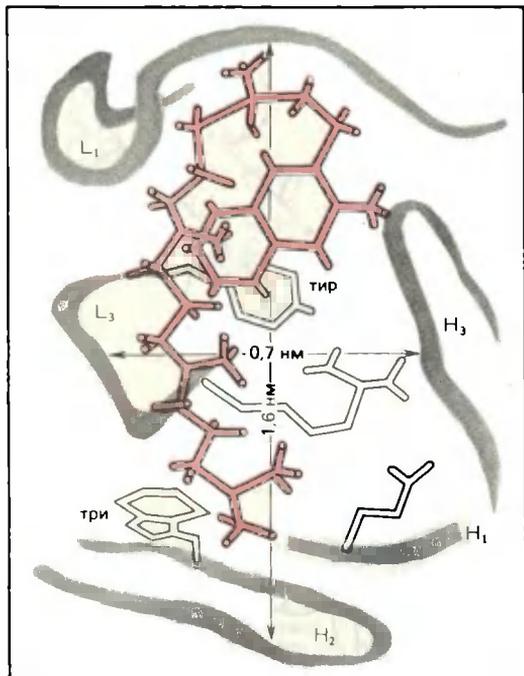


Схема расположения и связывания молекулы витамина K_1 (выделена цветом) в полости активного центра иммуноглобулина. В формировании полости активного центра принимают участие гипервариабельные районы легких (L_1 , L_3) и тяжелых (H_1 , H_2 , H_3) цепей. По данным рентгеноструктурного анализа, размер выемки, куда входит лиганд, составляет $1,6 \times 0,7$ нм. Основная роль в удержании витамина K_1 , очевидно, принадлежит остаткам ароматических аминокислот: тирозину (тир) и триптофану (три).

наружения сходных структур с консервативными участками последовательностей в любом по специфичности рецепторе.

Сегодня уже получен ряд экспериментальных доказательств, свидетельствующих, что антиидиотипические и антивариотипические антитела взаимодействуют со структурами в активных центрах

⁴ Sege K., Peterson P. A. // Proc. Nat. Acad. USA. 1978. Vol. 75. P. 2443—2447.

⁵ Schreiber A. B., Courgud P. L. et al. // Ibid. 1980. Vol. 77. P. 7385—7389.

⁶ Комплемент — семейство белков сыворотки крови, включающее 11 основных белков и несколько дополнительных компонентов. Активация этой системы комплексом антиген — антитело вызывает необратимые повреждения в клетках-мишенях.

⁷ Кульберг А. Я., Ивановская Н. Д., Терханова И. А. // Докл. АН СССР. 1986. Т. 287. № 2. С. 486—489.

в последнее время появились данные молекулярно-биологических исследований структуры клеточных рецепторов. Недавно была изучена нуклеотидная последовательность гена, ответственного за синтез эпителиальными клетками рецепторов, которые избирательно связывают иммуноглобулины и транспортируют их через клетки эпителия. На основании полученных данных была построена модель аминокислотной последовательности полипептидной цепи, образующей рецептор. При сравнении аминокислотных последовательностей этого рецептора и иммуноглобулинов было обнаружено большое сходство в строении рецепторного белка с переменными участками иммуноглобулинов (примерно 50—60 %).⁸ Этот результат особенно важен еще и потому, что клетки эпителия, синтезирующие изучаемый рецептор, имеют совершенно иное эмбриональное происхождение, нежели клетки иммунной системы.

РАСПОЗНАВАНИЕ АНТИГЕНОВ НЕЛИМФОИДНЫМИ КЛЕТКАМИ

Таким образом, на основании имеющихся данных можно предположить, что нелимфоидные клетки продуцируют рецепторные белки, не принадлежащие к иммуноглобулинам (антителам), но сходные с ними по структуре активных центров и репертуару распознаваемых ими лигандов (или антигенных детерминант в случае антител).

Как же с генетических позиций можно объяснить, что в совершенно различных по происхождению клетках функционируют гены, кодирующие сходные по структуре активные центры у белков, отличающиеся в целом по своему строению и функции?

Вполне вероятно, что такую ситуацию можно понять, если предположить, что гены, ответственные за синтез активных центров рецепторов и антител, имеют унитарное эволюционное происхождение. Необходимо при этом принять во внимание, что в клетках эвкариот функционально отличные участки полипептидной цепи одного белка кодируются различными генами (сегментами ДНК). На ранних стадиях клеточной дифференцировки эти гены разъединены в хромосоме. Но по мере созревания клеток все сегменты ДНК в результате

многочисленных генных перестроек собираются в единый ген.

Можно предположить, что у генов для активных центров антител и активных центров клеточных рецепторов на низких ступенях эволюционной лестницы был единый предшественник — семейство генов, которые в далеком прошлом, еще до возникновения лимфоидной системы, кодировали белки, выполнявшие совсем иные функции, нежели белки иммунной системы (антитела и антигенраспознающие рецепторы лимфоцитов). В числе этих функций могло быть специфическое распознавание клеткой различных индукторов и медиаторов, управляющих обменом веществ, а также селективный транспорт в клетку нужных ей метаболитов: сахаров, аминокислот, нуклеиновых оснований и др.

Как проверить, продуцируют ли, действительно, нелимфоидные клетки рецепторы, распознающие совершенно те же лиганды, что и антитела, и насколько активные центры этих распознающих белков похожи? Прежде чем начать такие эксперименты, нужно было найти подходящий объект, т. е. клетку, которая синтезировала бы рецепторные белки, родственные иммуноглобулинам, но не была при этом лимфоидной. Наш выбор пал на макрофаги. Эти клетки — одни из наиболее древних в филогенетическом отношении клеток иммунной системы, которые в отличие от лимфоцитов не продуцируют иммуноглобулинов (антител). Способность макрофагов поглощать (фагоцитировать) различные вещества была определена еще И. И. Мечниковым как прямое эволюционное развитие питательной (трофической) функции примитивных одноклеточных организмов.

Необходимо ли для осуществления акта фагоцитоза, чтобы макрофаг предварительно «узнал» определенный антиген с помощью специфического рецептора, синтезируемого им же самим? Если это так, тогда можно проследить историческую общебиологическую связь между механизмом клеточной рецепции и специфическим механизмом иммунного ответа.

Как оказалось, макрофаги, действительно, синтезируют белки, структурно, подобно другим клеточным рецепторам, в клеточную мембрану, и сходные по своей специфичности с антителами. В их числе могут быть рецепторы к таким простым антигенным детерминантам, как динитрофенильная группа или арсанитовая кислота. Это было доказано в опытах с антигеном, представляющим собой собственный гамма-глобулин мыши, меченный радиоактив-

⁸ Mostov K. E., Freidlander M., Blobel G. // *Nature*. 1984. Vol. 308. P. 37—43.

ным иодом с присоединенными к нему динитрофенильными группами (в экспериментах мы использовали макрофаги от здоровых неиммунизированных мышей). При температуре 37°C , когда макрофаги активно поглощают антигены, мы добавляли в среду динитрофениллизин (детерминанту, гомологичную детерминантам нашего антигена). При этом фагоцитоз антигена прекращался. В то же время присутствие азофениларсанилаттирозина (гетерологичной детерминанты) не влияло на фагоцитоз⁹.

Эти результаты говорят о том, что хотя макрофаги и не производят антител,

щихся иммунологических методов, активные центры рецепторов макрофагов и активные центры антител одинаково реагировали с антиидиотипическими и антивариотипическими антителами (и те, и другие связывали одни и те же детерминанты). Это означает, что синтезируемые макрофагами белки (названные нами R-белками), распознающие простые антигенные детерминанты, имеют активные центры, структура которых по ряду существенных признаков сходна со структурой переменных участков антител к той же детерминантной группе¹⁰.

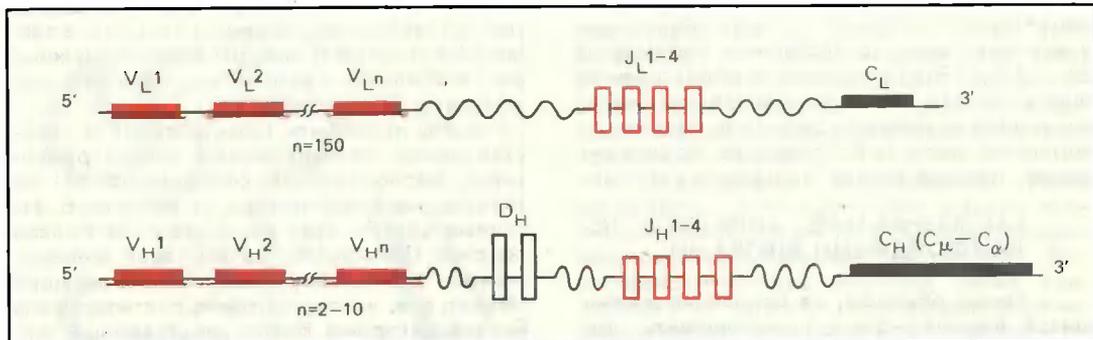


Схема расположения генов, кодирующих различные участки легкой (вверху) и тяжелой (внизу) цепей иммуноглобулинов в недифференцированных клетках. Число переменных генов (V_L , V_H) велико, и все они структурно изолированы. Для синтеза переменных районов необходимо также участие сегментов ДНК (J_L , J_H и D_H). Число генов, ответственных за синтез константных участков (C_L , C_H), соответствует числу классов и подклассов иммуноглобулинов. Каждый константный ген, как и переменный, состоит из нескольких изолированных сегментов (на схеме показано упрощенно). В ходе созревания лимфоцитов в онтогенезе к каждому из V_L -генов легкой цепи присоединяется один из J_L -сегментов (вверху). Аналогично собирается единый ген для переменного района тяжелой цепи, куда входит один из V_H -генов, один из D_H и J_H сегментов (внизу).

они синтезируют такие мембранные белки, которые распознают антигенные детерминанты, так же как и антитела. Причем только после связывания антигенов с этими белками и начинается собственно фагоцитоз. Тем самым нет оснований рассматривать процесс фагоцитоза макрофагами как неспецифический процесс, что на протяжении многих десятилетий считалось одной из аксиом иммунологии.

Как показали наши дальнейшие эксперименты с использованием уже упоминав-

Разумеется, данных иммунологического анализа еще недостаточно, чтобы говорить о степени сходства генов, кодирующих активные центры R-белков и V-генов, ответственных за синтез активных центров антител. Для этого предстоит еще выделить эти гены и изучить их нуклеотидную последовательность.

СНАЧАЛА «СВОЕ», А ПОТОМ «ЧУЖОЕ»

Чем можно объяснить тот факт, что фагоцитоз, открытый еще в прошлом веке И. И. Мечниковым, считался до сих пор явлением неспецифическим и принципиально отличным от распознавания антигенов лимфоцитами? Определенную роль в этом сыграл, по-видимому, хорошо известный факт, что индивидуальный макрофаг может связывать и поглощать самые разнообразные антигены, а индивидуальный лимфоцит (клон лимфоцитов) специфически распознает один, в редких случаях два антигена (точнее, антигенные детерминанты).

Гипотеза М. Бернета о том, что лимфоциты клонированы в отношении распоз-

⁹ Кульберг А. Я., Кулагина Н. Н., Тарханова И. А. и др. // Иммунология. 1985. № 6. С. 39—43.

¹⁰ Кульберг А. Я. Регуляция иммунного ответа. М., 1986.

наваемых ими антигенов, которые лишь селекционируют их, сегодня убедительно доказана. В процессе дифференцировки лимфоцитов в них происходит такая перестройка генетического материала, в результате которой возникают условия для функционирования лишь одного из большого числа вариантов генов, первоначально содержащихся в геноме.

Из этих бесспорных фактов, однако, не следует, что в других по способу дифференцировки клетках также «выключаются» все варианты V-генов, кроме одного, как это происходит в лимфоцитах. Гены, кодирующие активные центры R-белков, могут принадлежать к другому семейству переменных генов, нежели переменные гены иммуноглобулинов. Эти близкие по строению и происхождению гены могут иметь различные механизмы своего функционирования. Вот почему в одном макрофаге могут одновременно синтезироваться различные варианты R-белков. Этот факт можно считать экспериментально доказанным, так как, по нашим данным, макрофагоподобные клетки, полученные из одного опухольного клона, одновременно синтезируют R-белки и к динитрофенильной группе, и к арсениловой кислоте.

Если рассматривать обсуждаемую проблему в филогенетическом аспекте, то R-белки предназначены все-таки не для распознавания чужеродных веществ (антигенов или их изолированных детерминант), а скорее для распознавания собственных белков, других биополимеров, разнообразных низкомолекулярных регуляторов обмена веществ и метаболитов.

Сегодня об этом можно судить не только на основании приведенных здесь примеров относительно строения активных центров рецепторов. Нет никаких сомнений в том, что в организме имеются лимфоциты, потенциально способные к продукции антител к самым разнообразным биополимерам того же организма. В норме активность этих лимфоцитов подавлена специальной системой иммунного контроля. Но при так называемых аутоиммунных заболеваниях (нередкой патологии у человека и определенных по своему генетическому статусу лабораторных животных) подавленные в норме лимфоциты приобретают способность продуцировать антитела к «своему». Активность этих иммуноглобулиновых генов для антител, распознающих «свое», может быть расторможена и в эксперименте. Следовательно, среди переменных генов для иммуноглобулинов немало таких, которые кодируют активные

центры антител, направленных против «своего», в том числе против гормонов и многих других биологически активных веществ.

В свою очередь, необходимо напомнить, что, согласно имеющимся экспериментальным данным, совершенно однородные (моноклональные) антитела к явно чужеродным веществам (например, к динитрофенильной группе) распознают через тот же активный центр и необходимые для жизни вещества, в числе которых витамины, а также производные некоторых метаболитов. Достоверно известно, что моноклональные антитела, продуцируемые при некоторых аутоиммунных заболеваниях, содержат в своем активном центре два функциональных участка: один для связывания нативной двуспиральной ДНК, а другой — для «своих» же белков¹¹. И число подобных примеров будет расти с усовершенствованием техники исследования и более детального изучения иммунологами структуры и генетики иммуноглобулинов.

Но вернемся к началу статьи. Сходство строения активных центров антител и рецепторов той же специфичности на нелимфоидных клетках позволяет предположить, что механизм иммунологического распознавания — это лишь частный случай более древнего, генетически детерминированного механизма распознавания «своего», т. е. всех необходимых для жизни клетки биологически активных веществ. Рецепторные белки, кодируемые переменными генами, благодаря полифункциональному характеру своих активных центров способны узнавать и свои собственные биополимеры, и структурные аналоги природных метаболитов, которые представляют собой детерминантные группы антигенов. С другой стороны, опять-таки в силу полифункционального характера активных центров этих белков, число их, необходимое для жизни клетки, может быть не слишком велико.

Заканчивая статью, хочется еще раз подчеркнуть, что рассмотренная здесь проблема происхождения рецепторных белков, безусловно, носит общебиологический характер. Дальнейшее ее развитие поможет нам раскрыть новые закономерности регуляции постоянства внутренней среды организма и научиться управлять этим процессом в норме и при различных заболеваниях.

¹¹ Jacob L., Tron F., Bach J.-F. et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1984. Vol. 81. P. 3843—3845.

Полет в природе и технике: соревнование! ученичество!

А. А. Борин



Александр Аркадьевич Борин, специалист по теории флаттера, анализу летных данных летательных аппаратов, автор научных и популярных статей по теории машущего полета. В течение многих лет работал в ЦАГИ и в опытных конструкторских бюро ведущим конструктором по особо сложным объектам авиационной промышленности. В «Природе» опубликовал статью: Полет и механические колебания (1984, № 7).

Есть смысл начать обсуждение этой темы с отступления от нее. В наши дни, как, пожалуй, никогда раньше, распространено несколько наивное мнение, что творения природы всегда и во всем выше робких созданий человеческого разума. Сторонники этого взгляда видят его подтверждение, в частности, в том, что именно сейчас, после десятилетий бурного прогресса всех наук, в самостоятельную область знания выделилась бионика, в известном смысле представляющая собой прямое ученичество у природы.

В конечном счете всем, что мы знаем и умеем, мы обязаны осмыслению уроков природы. Но плох тот ученик, который хоть в чем-нибудь не превзойдет учителя. Тут нам есть, что вспомнить: трансурановые элементы, космические полеты, электроника... да и природных обитателей воздуха мы далеко превзошли по скорости, высоте и дальности полета. При этом мы не забываем, что планер — предок самолета — в свою очередь прямой потомок парящей птицы.

Есть ли чему сегодня учиться у птицы? Есть, утверждают многие, и в их числе мы можем назвать серьезных ученых и конструкторов. Аргументация их проста и выглядит чрезвычайно убедительной.

Сообщения о дальних перелетах птиц производят иной раз ошеломляющее

впечатление. Как удастся этим миниатюрным созданиям преодолевать поистине необъятные просторы? Достоверно известно, например, что в 20-х годах стая чибисов пересекла Атлантику, покрыв 4000 км за 24 ч (со средней скоростью 167 км/ч)¹. Не менее знаменит перелет золотистых ржанок через Тихий океан на расстояние 10 000 км (со средней скоростью более 100 км/ч)².

Второй впечатляющий довод: по такой характеристике, как нагрузка на единицу мощности, птицы многократно превосходят самолеты. Действительно, трудно усомниться в том, что аппарат, способный переносить по 80 кг на единицу затрачиваемой мощности, будет в 10 раз выгоднее другого, который может переносить (при прочих равных условиях!) только по 8 кг. Следовательно, заявляют адепты машущего полета, по энергетике птица во много раз совершеннее самолета.

И наконец, чудесную способность взлетать с места, без разбега, придаваемую птицам, как кажется, самой возможностью взмахов крыла, мы наблюдаем ежедневно. Правда, тем же преимущест-

¹ Гладков Н. А. Биологические основы полета птиц. М., 1949. С. 133.

² Там же.

вом обладают вертолеты, но мы знаем, что достигается оно ценой больших дополнительных потерь на крейсерском режиме полета.

Все ли тут верно? И, если так, почему техника не последовала за птицами путем, разумность которого освещена тысячелетиями эволюции и естественного отбора? Не странно ли это? Человеческая мысль — сперва мечтателей, а потом изобретателей и ученых — испокон веку устремилась именно в этом направлении, а махолеты не летают и по сей день.

В этой статье автор ставит перед собой скромную цель — показать, почему природа с неизбежностью должна была «избрать» машущий полет, а техника столь же решительно пошла — и продолжает идти — другим путем.

ЭНЕРГЕТИКА И ДАЛЬНИЕ ПЕРЕЛЕТЫ

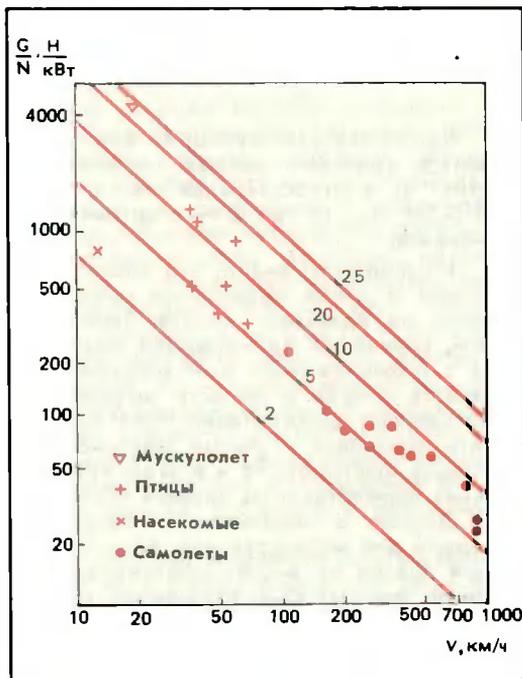
Едва ли нужно доказывать всерьез, что для птиц не существует особых, только им свойственных физических законов. Как и всякий энергетический процесс, их полет подчиняется закону сохранения энергии, который для любого объекта, движущегося с постоянной скоростью V в среде с сопротивлением, имеет вид $N\eta_{\text{дв}} = XV$, где N — потребная для движения мощность, $\eta_{\text{дв}}$ — КПД движителя, X — сила сопротивления среды. Отсюда, вводя величину качества K , равную отношению веса движущегося объекта к силе X , и выражая скорость в км/ч, получаем следующую величину нагрузки G на единицу мощности³:

$$\frac{G}{N} = 3600 \frac{K\eta_{\text{дв}}}{V} \text{ [Н/кВт]}.$$

Подчеркнем, что эта зависимость справедлива для любых движущихся объектов — птицы, самолета, поезда, корабля, жидкости, перекачиваемой по трубам, — вне зависимости от происхождения силы, которая приводит их в движение (мускулатура, тепловой или электрический двигатель, тяжесть, ветер), и от устройства движителя (колесо, винт, машущее крыло, насос). Задача сводится к тому, чтобы в каждом конкретном случае правильно найти величину «эквивалентного качества» $K_s = K\eta_{\text{дв}}$. Из формулы для G/N видно, что безразмерная величина K_s — единственный фактор, определяющий рациональность вы-

бора технического решения или природного устройства объекта, и, таким образом, является критерием его энергетического совершенства. В остальном нагрузка на единицу мощности зависит лишь от крейсерской скорости движения V .

Теперь сразу обнаруживается причина больших значений G/N у птиц и насекомых. Даже при невысоком уровне энергетического совершенства (у саранчи, например, $K_s = 2,8$, тогда как у хороших самолетов $K_s = 13$ и выше) удельные нагрузки у них чрезвычайно велики просто потому,



Зависимость нагрузки на единицу мощности G/N от скорости полета V для различных летающих объектов. Прямые соответствуют постоянным значениям [указаны на рисунке] эквивалентного качества K_s — безразмерной характеристики энергетического совершенства летающего объекта.

что мала скорость полета. В этом смысле особо показательна точка графика $G/N(V)$, соответствующая знаменитому мускулолету «Госсамер — Кондор», построенному по самолетной схеме — с неподвижным крылом и винтовым движителем. Этот аппарат — благодаря не столько высокому энергетическому совершенству ($K_s = 21,6$), сколько очень малой скорости полета ($V =$

³ Борин А. А., Кокшайский Н. В. // Докл. АН СССР. 1984. Т. 277. № 2. С. 489—493.

=17,7 км/ч) — имеет фантастическую даже по сравнению с птицами величину G/N — около 4400 Н/кВт.

Физический смысл изложенного крайне прост: при затрате определенной мощности переносимый груз тем больше, чем меньше скорость. Мы повседневно применяем эту истину в быту, но забываем о ней, пытаясь искать чудеса в естественных явлениях.

Сказанное имеет прямое отношение к дальности полета. Согласно известной формуле Бреге, дальность полета L пропорциональна той же характеристике энергетического совершенства $K_3 = K_{\eta_{дв}}$:

$$L = 367 \frac{K_{\eta_{дв}}}{c_e} \ln(1 - \bar{G}_{гор}).$$

Кроме нее действующими факторами являются удельный расход горючего c_e (кг/кВт·ч) и относительная масса горючего $\bar{G}_{гор} = G_{гор}/G$, где G — стартовая масса объекта.

Из формулы видно, что абсолютные размеры и масса объекта не оказывают влияния на дальность полета. Таким образом, сравнение миниатюрных размеров птиц с покрываемыми ими расстояниями относится скорее к области эмоций, нежели научной аргументации. Если же проводить параллель с учетом реально действующих факторов, то и в этом случае в дальних перелетах птиц никаких чудес нет.

Данные о перелетах — бесценный материал для исследователя. Если предыдущий анализ не может претендовать на высокую точность из-за трудностей, связанных с экспериментальным определением мощности мускулатуры, то достаточно хорошо измерить пройденное в перелете расстояние и относительную потерю веса (а это не представляет затруднений), чтобы получить надежную оценку энергетического совершенства объекта.

К сожалению, применительно к птицам таких данных обычно и недостает. Например, в сведениях об упомянутом перелете ржанок нет информации о ветре по трассе перелета, не проводилось измерение веса; более того, нет никаких указаний на то, что птицы не кормились в пути. Перелет чибисов через Атлантику сопровождался сильным попутным ветром — до 95 км/ч; потеря веса также не определялась.

Лишь в единственном случае эксперимент был поставлен должным образом, когда исследовался перелет американских славков *Dendroica striata* над морем

от шт. Массачусетс (США) до Бермудских о-вов (расстояние 1300 км)⁴. Посредством радара осуществлялся контроль скорости и учитывалась скорость ветра на трассе. Массовое измерение веса птиц проводилось в начальном и конечном пунктах. Потеря веса составила в среднем 0,165 от стартовой.

Соответствующие данные имеются по двум самолетам: относительная потеря массы ЛИ-2 в перегоночном варианте составляла 0,182 при дальности полета 2090 км, самолета РД (АНТ-25), совершившего в 1937 г. перелет Москва — Сан-Джасинто (США), — 0,542 при дальности полета 13 000 км⁵.

Зная теплотворную способность авиационного топлива и «горючего» (жира) птицы, а также их термические КПД, нетрудно подсчитать K_3 — величину характеристики энергетического совершенства:

| | |
|--------------|----------------|
| птица | $K_3 = 10,6$, |
| самолет ЛИ-2 | $K_3 = 8,7$, |
| « РД | $K_3 = 13,9$. |

Мы видим, что анализ удельной нагрузки на мощность у птиц и анализ дальности их полета приводят к практически совпадающим между собой значениям K_3 . Кроме того, они близки к значениям K_3 для самолетов, и это делает широко распространенное мнение о необычных экономических преимуществах машущего полета несостоятельным.

Мы провели чисто энергетическое сравнение птиц и самолетов, а следует еще помнить, что на величину экономического критерия (стоимость тонно-километра груза) такие характеристики летательного аппарата, как весовая отдача⁶, скорость крейсерского полета и рабочий ресурс⁷ конструкции, влияют сильнее, чем расход топлива. По этим характеристикам машущее крыло явно проигрывает. Поэтому представляется по меньшей мере сомнительным, чтобы летательный аппарат, аналогичный по схеме и равноценный по данным птице, мог оказать серьезную конкуренцию самолету в качестве транспортного средства.

⁴ Nisbet J. C., Drury W. H., Baird J. // Bird-Banding. 1963. Vol. 34. № 3. P. 107—159.

⁵ Шапов В. Б. История конструкций самолетов в СССР до 1938 г. Изд. 2-е. М., 1978. С. 485.

⁶ Отношение массы перевозимого груза и топлива к стартовой массе летательного аппарата.

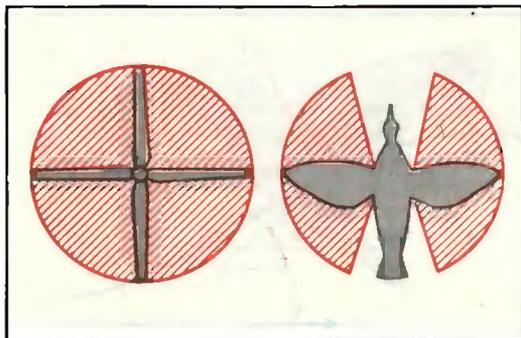
⁷ Время (в часах) фактической работы конструкции.

ВЗЛЕТ С МЕСТА

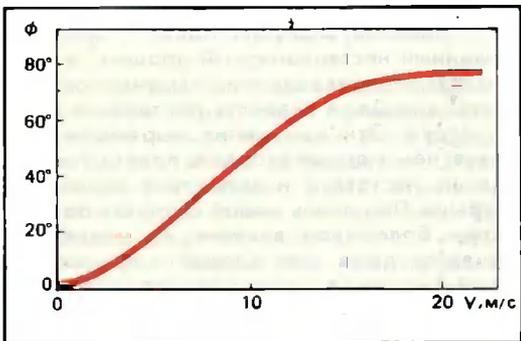
Кроме мифической, как мы убедились, экономичности часто обсуждается завидная возможность махолета взлетать без разбега.

Как и прежде, начнем с обсуждения соответствующей способности птиц.

Наблюдения обнаруживают здесь общую закономерность, отступления от которой невелики и всегда имеют отчетливые экологические и физиологические причины. Заключается она в том, что чем крупнее



Ометаемая площадь — сечение столба воздуха, отбрасываемого вниз при висении на месте — для вертолета [с л е в а] и птицы [с п р а в а].



Зависимость угла наклона Φ между плоскостью взмахов и горизонтом от скорости полета V голубя. Горизонтальная при взлете плоскость взмахов с увеличением скорости полета приближается к вертикальной.

птица, тем хуже она взлетает. Для некоторых птиц взлет — настолько затруднительная операция, что они предпочитают начинать полет, бросаясь со скал, деревьев или, как альбатрос, с прибрежных дюн, либо с вершины крутой волны. Широко распространенный взлет с разбегом (гагара, лебедь, пеликан, кондор, фламинго, чомга, баклан и др.) по существу ничем не

отличается от самолетного. Только небольшие птицы, весом не более голубя, способны взлетать с места и неподвижно зависать в воздухе («трепещущий полет»).

Исходя из известных в механике законов подобия и теории несущего диска, легко найти этому причину. Теория несущего диска исходит из того простого факта, что подъемная сила любого динамического несущего органа (крыла, несущего винта) равна количеству движения той массы воздуха, которая отбрасывается за одну секунду. При висении на месте или очень медленном полете мощность, необходимая для поддержания единицы веса, пропорциональна скорости отброшенной струи, которая, в свою очередь, пропорциональна квадратному корню из нагрузки на ометаемую несущим органом площадь.

Если увеличивать летающий объект (например, птицу), сохраняя геометрическое подобие его частей и кинематику движения, то ометаемая площадь растет пропорционально квадрату, а вес — пропорционально кубу линейных размеров объекта, т. е. нагрузка на площадь растет пропорционально его размеру. Таким образом, на каждый килограмм поднимаемого веса требуется мощность, пропорциональная \sqrt{V} (l — размах крыла), и выше некоторого предела, близкого, по-видимому, к 0,5 кг, мощности для вертикального взлета недостаточно. Предел указан, разумеется, ориентировочно, и уточненное его значение зависит от видовых особенностей птицы.

Для птиц, способных взлетать без разбега (или с малым разбегом), решающим обстоятельством является их «умение» махать при этом крылом в горизонтальной плоскости или близко к ней, что обеспечивает необходимую для взлета ометаемую площадь. Из зависимости угла Φ между плоскостью взмахов и горизонтом от скорости полета V , полученной в опытах с голубем⁸, видно, что с увеличением скорости полета птица как бы превращается из вертолета в самолет. Достигается это очень просто: при увеличении скорости птица уменьшает наклон корпуса, одновременно слегка изменяя ориентировку плоскости взмахов относительно корпуса.

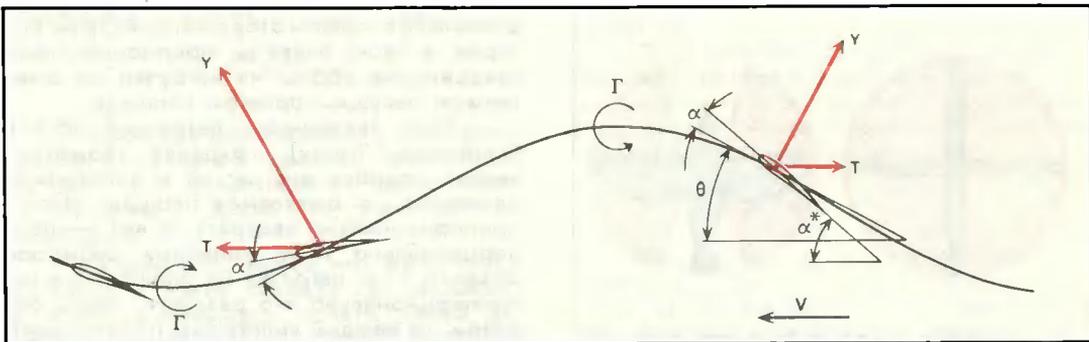
Итак, «уловки» природы, направленные на достижение вертикального взлета, сводятся в основном к уменьшению (в пределах возможности) нагрузки на ометае-

⁸ Pennycuik C. J. // J. Exp. Biol. 1968. Vol. 49. № 3. P. 527—555.

мую площадь, что, в свою очередь, обеспечивает достаточно малую потребную мощность на единицу веса.

Птицам с большой нагрузкой, вынужденным экологическими условиями прибегать к вертикальному взлету (фазаны), помогает другая «уловка»: их мускулатура обладает свойством, позволяющим кратковременно, но очень сильно (в 3—4 раза) увеличивать мощность.

В каком положении находятся искусственные летательные аппараты по отношению к летающим животным?



Траектория движения сечения машущего крыла: α — угол атаки, α^* — угол заклинивания, θ — угол наклона траектории, V — скорость полета, G — отходящий вихрь. Цветными стрелками изображены подъемная сила крыла Y и ее горизонтальная составляющая T (сила тяги).

При висении на месте энергетическое совершенство объекта оценивается отношением КПД, представляющим собой отношение потребной мощности идеального несущего диска к фактической потребной мощности с учетом всех потерь (трения, закрутки струи и т. д.). Значение этой характеристики у вертолетов (0,45—0,7) выше, чем у птиц (0,26—0,41), т. е. энергетически вертолеты более совершенны. Однако из-за несравненно больших нагрузок на ометаемую площадь (150—500 Н/м² против 4—11 Н/м² у птиц, способных к трепещущему полету) их удельные потребные мощности существенно выше (2,7—6,7 кВт/Н у вертолетов, 0,67—0,94 кВт/Н у птиц).

ЧТО СУЛИТ НЕСТАЦИОНАРНАЯ АЭРОДИНАМИКА

Попытки объяснить истинную картину машущего полета часто встречают стан-

дартное возражение: все это так, но ваши выводы основаны на стационарной аэродинамике (предполагающей картину обтекания установившейся) и потому к машущему полету неприменимы.

Внимательный читатель заметил, конечно, что экспериментальную основу предыдущих разделов составляет прямое сравнение фактических летных данных птиц и самолетов, а теоретическую — общие положения механики, действующие независимо от характера аэродинамических процессов. К сожалению, предубеждения сильнее лю-

бых доводов, и на все разъяснения следует тот же ответ.

А как же, все-таки, обстоит дело с аэродинамикой?

Конечно, машущий полет — ярко выраженный нестационарный процесс: в разных фазах взмаха заметно изменяются угол атаки⁹ α крыла и скорость притекания к нему струй. Эти изменения выражены тем резче, чем меньше скорость полета V и чем больше частота ω и амплитуда колебаний A крыла. При очень малой скорости полета, а тем более при висении на месте, изменяется даже знак скорости притекания струй к крылу: в момент взмаха назад крыло обтекается сзади (поэтому, например, колибри при взмахе назад поворачивает крыло обратной стороной).

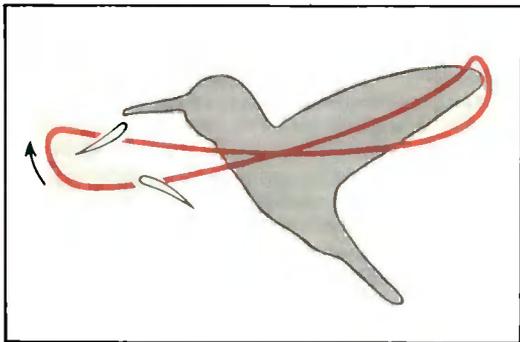
Численной мерой, определяющей степень нестационарности работы крыла при $V \neq 0$, служит число Струхала $Sh = \frac{a\omega}{V}$, где a — характерный линейный размер, за который обычно принимают амплитуду взмахов A , либо хорду крыла b .

⁹ Угол атаки — угол между хордой крыла и направлением набегающего потока; угол между хордой крыла и горизонталью — угол заклинивания.

Чем больше Sh , тем дальше процесс от стационарного.

Здесь надо сделать несколько важных замечаний.

Главный из эффектов нестационарности проявляется в том, что возмущения, вносимые телом в среду при его движении с ускорением, вызывают дополнительные силы, пропорциональные ускорению, т. е. как бы увеличивают массу тела. Эта дополнительная (так называемая присоединенная) масса пропорциональна массе жидкости, помещающейся в объеме тела.



«Трепещущий» полет колибри. Плоскость взмахов, ограниченная цветной кривой, близка к горизонтальной. При взмахе назад крыло поворачивается таким образом, чтобы подъемная сила сохраняла положительный знак.

Например, для цилиндра, колеблющегося нормально к образующей, присоединенная масса равна массе жидкости в его объеме, для шара составляет ее половину. Отсюда видно, что этот эффект может играть значительную роль только в тех случаях, когда плотность среды близка к плотности самого тела или больше ее, как, например, для водоизмещающих судов или дирижаблей. В летательных аппаратах тяжелее воздуха он практически отсутствует: масса воздуха в их объеме мала.

Другие же эффекты нестационарности обтекания сказываются на работе неравномерно или непрямолинейно движущегося в воздухе крыла. Во-первых, циркуляция скорости течения воздуха вокруг сечений крыла, обуславливающая существование подъемной силы, увеличивается при его разгоне или увеличении угла атаки не сразу и точно так же с запозданием падает при уменьшении скорости или угла атаки (эффект Вагнера). Во-вторых, вихри, сошедшие с крыла в некоторый момент времени, изменяют свое положение

в пространстве относительно крыла и, следовательно, свое влияние на него. Наконец, при полете на углах атаки, близких к критическому¹⁰, нестационарность может существенно повлиять на срыв потока (например, может оттянуть его на большие углы).

Действительное движение крыла летящей птицы очень сложно — в некоторых фазах взмаха крыло может сгибаться в кистевом суставе или откидываться назад, и полностью описать такое движение достаточно простой и поддающейся дальнейшему анализу формулой не представляется возможным. Поэтому для начала выделим некую здравую и достаточно простую основу явления, по необходимости усложняя ее в процессе дальнейшего изучения. В качестве такой основы обычно выбирают синусоидальные колебания крыла. По нисходящей ветви траектории крыло движется с большим углом атаки и, следовательно, с большей подъемной силой, чем по восходящей. Соответственно, направленная вперед проекция подъемной силы на нисходящей ветви превышает направленную назад ее проекцию на восходящей, благодаря чему машущее крыло и создает силу тяги. Если оставить в стороне упомянутые нестационарные эффекты, то нетрудно подсчитать как мгновенную, так и среднюю за период величину этой «квазистационарной» силы, после чего останется лишь оценить, какое влияние могут на нее оказать упомянутые эффекты.

Нетрудно видеть, что вследствие периодического изменения подъемной силы эффект Вагнера будет иметь противоположные знаки в верхней и нижней точках траектории и потому не отразится на средней за период величине тяги.

Вихри, сходящие с колеблющегося крыла в тех же точках, имеют также противоположные направления и образуют за крылом дорожку с шахматным расположением, на роль которой впервые указал В. В. Голубев¹¹. Эти вихри вызывают около крыла дополнительные составляющие скорости потока, направленные вниз на нисходящей ветви траектории, когда подъемная сила больше, и вверх — на восходящей. В результате работа машущего крыла ухудшается по сравнению с квазистационарной оценкой: уменьшаются средняя тяга и КПД крыла как движителя. При малых числах

¹⁰ Угол атаки, при котором прекращается рост подъемной силы.

¹¹ Голубев В. В. Труды по аэродинамике. М.: Л., 1955. С. 399—576.

Струхаля этот эффект невелик: например, в условиях упоминавшихся выше опытов с голубем он составляет примерно 1% при максимальной скорости полета 22 м/с и около 3% при скорости 9 м/с. Таким образом, на крейсерском полете его влияние очень мало.

Угол атаки крыла в крейсерском полете всегда далек от критического, и поэтому возможность затягивания срыва на этом режиме не проявляется. Средняя за период величина подъемной силы в крейсерском полете мало отличается от таковой в стационарном движении.

Итак, влияние нестационарности усиливается с уменьшением скорости полета и сильнее всего проявляется при висении на месте. Есть данные, указывающие на заметное возрастание несущей способности крыла на этих режимах. Однако приходится с сожалением констатировать, что именно их аэродинамика наименее исследована в настоящее время и пока трудно расчлнить, что здесь дает нестационарность, а что — уникальная способность птицы превращать свое крыло в многощелевое, обладающее высокими несущими свойствами.

Необходимо, однако, подчеркнуть, что эти свойства играют (как это ни парадоксально) второстепенную роль в задаче обеспечения точечного взлета и висения на месте, самая возможность которых определяется, как мы видели, нагрузкой на ометаемую площадь и величиной располагаемой удельной мощности. Хорошая профилировка крыла позволяет уменьшить его площадь и, тем самым, массу; если говорить о птицах, крыло которых, как известно, не содержит упругого элемента, это уменьшает дополнительные потери на преодоление сил инерции, кроме того понижаются потери на трение¹². Уменьшить же основной расход энергии — на отбрасывание струи вниз — можно только увеличивая размах крыла и амплитуду его колебаний.

ПРИРОДА, ТЕХНИКА, БИОНИКА

Теперь мы вплотную подошли к ответу на поставленный в начале статьи вопрос. Необходимо, однако, сделать предварительное замечание: основное отличие сконструированных человеком аппаратов заключается в широчайшем применении принципа колеса. Живой природе это не-

свойственно и даже недоступно: в самом деле, нельзя представить себе эволюционный процесс, приводящий к образованию органа, который не имеет с остальными ни одной общей материальной точки, способен к многократным поворотам в одну сторону и может быть размещен произвольным образом.

В механическом смысле тянущий винт самолета и несущий — вертолета представляют собой то же колесо; эволюция же летающих животных могла идти только по линии модифицирования и совершенствования периодических (маховых) движений органов, первоначально предназначенных для другой цели. Этот путь не «выбран», а предопределен неизбежностью, вытекающей из самого строения живого организма.

С другой стороны, те же особенности строения в соединении с полторастами миллионов лет эволюции сделали птиц природными жителями воздушного океана, чувствующими себя в нем «как рыбы в воде»: Практически мгновенная реакция на атмосферные возмущения позволяет им летать в условиях, не всегда пригодных для гораздо более крупных и мощных искусственных летательных аппаратов. Кажущаяся легкость их полета заставляет забывать о том, что мускульной мощности недостаточно, чтобы поднять в воздух птицу с массой более 18—20 кг — даже с разбегом.

Остается ответить на вторую часть вопроса: почему тем же путем не пошла техника? Ведь предопределенности здесь нет, пример — перед глазами, мощности, которыми мы располагаем, практически не ограничены. Может быть, просто нет преимуществ, ради которых стоило бы ломать копья?

Из анализа нагрузки на единицу мощности G/N и дальности полета мы уже видели, что аппарат, копирующий птицу, действительно не имел бы энергетических преимуществ перед самолетом, и его единственным оправданием была бы возможность взлета с места — если бы можно было ее осуществить, а об этом речь дальше.

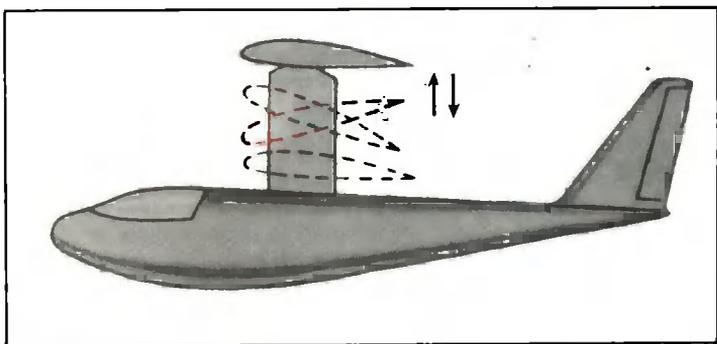
Но этого мало. Расчет показывает, что безнадежно пытаться получить достаточную для горизонтального полета — не говоря уж о наборе высоты — тягу, если каждое полукрыло совершает маховое движение в пределах разумной амплитуды без поворота сечений. При увеличении же амплитуды такое крыло уходит на критические углы атаки, что не только допол-

¹² Борин А. А. Полет и механические колебания // Природа. 1984. № 7. С. 69—77.

нительно снижает тягу, но и создает опасность аварии аппарата.

Нужную тягу дают взмахи крыла с одновременным поворотом его сечений относительно оси, параллельной размаху, — именно так летают птицы, конструкция крыла которых идеально приспособлена к необходимой кинематике. Воспроизвести ее на натурном искусственном аппарате, располагая современными конструктивными материалами, немислимо, хотя это легко сделать на модели, крыло которой не несет больших нагрузок и не рассчитано на дли-

Примерная компоновка экспериментального махолета. Крыло, вынесенное вверх на пилоне, совершает вертикальные колебания с одновременным поворотом вокруг оси, параллельной размаху. Его расчетные летные данные [максимальная скорость 130 км/ч, максимальная вертикальная скорость подъема 1,3 м/с] несколько лучше, чем у самолета равной массы и мощности [$m=280$ кг, $N=5$ кВт].



тельную эксплуатацию. Возможно, правда, выполнить его мягким, дельтапланного типа, но такое крыло имеет невысокие аэродинамические характеристики и неспособно нести большие нагрузки.

Осуществление взлета с места с последующим переходом в горизонтальный полет требует решения еще одной сложнейшей конструктивной задачи: выполнения взмахов крыла в горизонтальной плоскости на взлете и в вертикальной (приблизительно) в полете. Реализующий ее сложный механизм должен испытывать в течение полета тысячи циклов нагружения силами, средняя величина которых равна весу корпуса со всей его нагрузкой.

Говорить о возможности создания аппарата, успешно решающего все эти задачи, в настоящее время не приходится; но даже в случае полного успеха мы получили бы аппарат, уступающий вертолету на взлетно-посадочных режимах и самолету — на крейсерском. По весовой отдаче, надежности и ресурсу он был бы безнадежно позади самолета.

Однако цель бионики — отнюдь не копирование живого организма, а, в первую очередь, изучение тех его свойств, которые пока недостаточно известны или не применялись в человеческой практике.

Здравый подход к машущему полету немедленно выявляет «рациональное зерно» в его механике: объединение тягового органа с несущим. Расчет по квазистационарной теории с поправкой на влияние вихревой дорожки показывает, что аэродинамический КПД такого движителя не уступает КПД лучших самолетных винтов; благодаря же совмещению функций (лобовое сопротивление крыла учтено в его КПД) аппарат такой схемы может при прочих равных условиях на крейсерском режиме несколько превзойти самолет по уровню

энергетического совершенства K_e . Поскольку в неупругом крыле (например, птичьим) необходимость преодолевать его инерцию дважды за полуцикл является источником дополнительных потерь, то упомянутое равенство условий требует включения упругого элемента, работающего на резонансном режиме, в систему подвески крыла.

Выполнить подобный аппарат средствами сегодняшней техники можно без каких-либо непреодолимых сложностей — его основу составляет крыло, колеблющееся вертикально как единое твердое тело с одновременным поворотом на нужный угол. Вертикальный взлет на таком аппарате невыполним из-за малости ометаемой площади. В итоге нет оснований ожидать от аппарата с машущим крылом пресловутого «переворота в авиации». Описанный выше аппарат вполне осуществим и займет свое — как следует ожидать, достаточно скромное — место в ряду прочих. Заслуживает внимания мысль о кратковременном использовании мускульной энергии пилота для уменьшения скорости снижения планера (на горизонтальный полет ее заведомо не хватает). Это может облегчить выход из критических ситуаций при парящем полете.

Кожа и происхождение человека

А. Г. Маленков, И. Е. Ковалев



Андрей Георгиевич Маленков, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией биофизических испытаний Научно-исследовательского института по биологическим испытаниям химических соединений Министерства медицинской и микробиологической промышленности СССР и АН СССР. Область научных интересов — биофизика клеток и тканей, формирование устойчивости биологических систем. Неоднократно печатался в «Природе».



Игорь Ефимович Ковалев, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией иммунофармакологии того же института. Занимается разработкой теории иммунохимического гомеостаза как единой функциональной системы. Неоднократно печатался в «Природе».

Киплинг устами своих животных-героев подчеркнул фундаментальное отличие человека от животных: «„Он совсем безволосый, и я мог бы убить его одним шлепком“, — сказал Отец Волк... „Он пришел к нам совсем голый... Оставить его? Да, я его оставляю. Лежи смирно, лягушонок! О, Маугли — ибо Лягушонком Маугли я назову тебя“, — сказала Мать Волчица¹». И действительно, по крайней мере на суше у человека эта уникальность очевидна. У всех животных — либо чешуя, либо панцирь, либо перья, шерсть, иглы, либо толстая ороговевшая кожа, как у бегемота

или слона. Голая кожа без шерсти и перьев, кожа, способная противостоять высыханию (в отличие от лягушек и тритонов), это, безусловно, чрезвычайно важное для биологии и особенно для развития человека отличие.

Однако, насколько нам известно, в антропологии до сих пор этот признак серьезно не рассматривался как существенный момент в становлении *Homo sapiens*. По-видимому, такой пробел обусловлен в первую очередь тем, что палеоантропология как строгая наука основана на документальных свидетельствах — костных останках, предметах орудийной деятельности, точной датировке слоев, в которых найдены останки древних людей, а голая кожа, да и

¹ Киплинг Р. Маугли. М., 1977, с. 12—13.

вообще кожа, прямых следов не оставляет. У читателя может возникнуть справедливый вопрос: почему именно голая кожа? На эту мысль нас натолкнули работы, совсем не связанные с проблемами антропогенеза. Изучая электрические и фотохимические свойства кожи, роль кожи в эволюции человека, мы, не будучи антропологами, пришли к заключению, что кожа — это важный эволюционный признак, а значит, ее образование должно было существенно повлиять на ход антропогенеза.

В этой статье мы попытаемся проследить, когда древний человек сбросил шерсть, как мог развиваться этот процесс и какое значение он имел для становления человека.

ЧЕТЫРЕ ПРИЗНАКА ВМЕСТО ТРЕХ

К знаменитой триаде биологических отличий человека от животных: прямохождение, пригодная для тонких движений рука, чрезвычайно развитый мозг, т. е. появление второй сигнальной системы, — по нашему мнению, следует прибавить четвертое — голая кожа. И рассматривать весь этот квартет нужно в комплексе, стремясь расставить во времени появление этих признаков. Наша задача — воссоздать картину происхождения человека, не разрушая стройной концепции классической триады, дополнить ее четвертым, на наш взгляд, не менее важным отличием, используя для этого косвенные доказательства из других наук, таких как медицина, биохимия, биофизика и психология.

Правомерность такой реконструкции не вызывает сомнений по двум причинам: во-первых, прояснить этапы становления человека можно, лишь до конца поняв необходимость появления всех признаков, отличающих человека от его далекого предка; во-вторых, в науке о происхождении человека уже известны весьма достоверные реконструкции этого процесса, опирающиеся не на материальные свидетельства, а на закономерности, вскрытые в пределах других наук².

Итак, почему потерю шерсти можно рассматривать как важный эволюционный признак, окончательно отделивший человека от его волосатого предка?

Как известно, поверхность любого организма — ее структура и свойства — может служить важным систематическим, а

значит, и эволюционным признаком. Если посмотреть на филогенетическое древо и выделить наиболее крупные таксоны, то мы увидим, что для каждого из них характерен свой тип поверхности. Другими словами, изменение свойств поверхности обычно предшествует крупным эволюционным перестройкам³. С таких общих позиций можно предположить, что потеря волосяного покрова должна была по времени совпадать (точнее, несколько предшествовать) важному событию в процессе становления человека, а именно: появлению второй сигнальной системы.

Чем можно аргументировать правильность реконструкции становления человека, включающей четыре основных отличия его от животных? По нашему мнению, весомым доводом в пользу такого построения может служить значимость того или иного признака (в данном случае, голая кожа) в настоящее время. Поэтому, прежде чем изложить свою концепцию, мы хотим подробнее остановиться на биологической роли кожи для современного человека.

КОЖА ЧЕЛОВЕКА — УНИКАЛЬНЫЙ В ЖИВОТНОМ МИРЕ ОРГАН

Открытая, не защищенная ничем кожа человека — принципиально важное явление в «волосатом царстве» высших животных. Она, как и любая оболочка всякого живого существа, обеспечивает целостность организма и служит средством связи с окружающей средой. Такая связь осуществляется многочисленными рецепторами, пронизывающими кожу и передающими информацию о состоянии внешней и внутренней среды в мозг. Это свойство собственной кожи человек осознал еще в глубокой древности: уже тогда она была и «индикатором здоровья», и местом контакта с тем или иным внутренним органом (традиционный китайский метод лечения болезней чженьцзю — иглокальвание и прижигание — насчитывает несколько тысячелетий).

Сегодня с позиций современной науки установлено, что характеристики аккупунктурных точек и особенности дерматоглифики кожи позволяют весьма точно диагностировать некоторые психические заболевания, а общие свойства кожи человека, такие как электро- и теплопроводность, тесно коррелируют с возрастными изме-

² Поршнева Б. Ф. К началу человеческой истории. М., 1974, с. 459.

³ Маленков А. Г., Ковалев И. Е. Кожа и эволюция человека. Деп. ВИНТИ, № 7312, 17.10.85.

нениями гормонального гомеостаза и психики⁴.

Кожа и мозг связаны очень прочной связью, закладываемой еще в эмбриональном развитии. Как известно, кожный рельеф ладони и стопы формируется на 9—12 недели эмбриогенеза из эктодермы — того же зародышевого листка, из которого развивается и центральная нервная система; в эти же сроки образуется кора больших полушарий головного мозга и обособливается гиппокамп — один из отделов лимбической системы.

Факт одновременной закладки нервной системы и кожного покрова из одного и того же зародышевого листка на самых ранних стадиях эмбриогенеза чрезвычайно важен для развития нашей концепции. Ведь изменения внешней среды, сказывающиеся на этих этапах эмбриогенеза, могут влиять как на развитие нервной системы, так и на структуру кожи.

Установлено, что по аномалиям кожного рельефа можно обнаружить скрытые функциональные сдвиги в центральной нервной системе, образующиеся именно в ранние сроки эмбриогенеза. Так, определенное недоразвитие мозга (болезнь Дауна) сочетается и с соответствующим недоразвитием кожных структур, формирующих кожный рельеф. Особенности кожного рельефа ладони сочетаются с особенностями функции головного мозга и со структурой кисти. Например, ладонь больного врожденной эпилепсией отличается от руки здорового человека не только по рельефу, но и по структуре кисти: «Широта основания кисти, свойственная больным эпилепсией, настолько убедительна, что можно считать целесообразным при обследовании больного эпилепсией обращать внимание не только на дерматоглифический рисунок, но и на особенности анатомического строения кисти пациента»⁵.

Потеря шерсти на ладонях и сопряженное с этим изменение кисти послужило необходимым условием для начала орудийной деятельности нашего далекого предка. У человека значение кожи ладоней неизмеримо возросло. По числу и сложности кожных рецепторов рука человека стоит на первом месте. Развитие такой сложной

рецепторной системы в коже рук сопровождалось соответствующим развитием анализирующей системы мозга и повышением, как следствие этого, творческих возможностей первобытного человека. Таким образом, можно считать, что «в процессе эволюции кожа перестает быть только барьерно-защитным органом и становится рядом с этим органом чувств»⁶.

Все эти факты служат убедительным доказательством сцепленности закладываемых в эмбриогенезе определенных свойств мозга и кожи человека. Значит, медико-биологические данные не оставляют сомнений, что потеря шерстяного покрова происходила параллельно с развитием мозга предков человека и имела огромное значение для становления *Homo sapiens*. По-видимому, этот процесс шел в два этапа, значительно разделенных по времени. Первый этап — появление обнаженных участков на лице и ладонях. Это событие относится к далекому прошлому, поскольку голая кожа на лице и ладонях имеется и у человекообразных обезьян. Второй этап — появление голого человека, что, несомненно, относится к более позднему времени.

Но не только это свойство, приобретенное в процессе эволюции, делает кожу универсальным органом. По сравнению с покрытой шерстью кожей обезьян или других животных, человеческая кожа интенсивно реагирует на свет, т. е. выполняет важную фотобиохимическую функцию. В ней сформировались различные фотохимические системы: синтеза витамина D из стероидов, метаболизма порфиринов, синтеза пигмента меланина. На меланин-синтезирующей системе стоит остановиться подробнее.

Есть основания считать, что меланин играет важную роль не только в функции кожи человека, но и в функции центральной нервной системы. Мозг человека существенно отличается от мозга животных по содержанию меланина в определенных зонах: в нем имеется область, так называемая черная субстанция (*substantia nigra*), чрезвычайно богатая этим пигментом. «Она служит центром пластического тонуса, развившегося как вспомогательный аппарат при моторных центрах»⁷. Потребность регуляции этого тонуса, подчиненного двигательным центрам, возникла при появле-

⁴ Маленков А. Г., Филимонова Д. А., Колотыгина И. М. и др. Электрические и теплофизические свойства кожи человека. Деп. ВИНТИ, № 7585, 1.3.85.

⁵ Пугачева Г. П. Особенности ладонной дерматоглифики у больных эпилепсией. Автореф. канд. дисс. Воронеж, 1972.

⁶ Фролов Е. П. Кожа как орган чувств. — В сб.: Кожа (строение, функция, общая патология и терапия). М., 1982, с. 168—191.

⁷ Сепп Е. К. История развития нервной системы позвоночных. М., 1949, с. 420.

нии высокодифференцированного движения. У низших млекопитающих черная субстанция, содержащая меланинподобный пигмент, представлена слабо, сильнее она развита у хищных, обезьян и наивысшей ступени развития достигает у человека. Меланин в черной субстанции появляется у человека только на третьем году жизни, когда его моторика достигает достаточно высокого уровня развития. По химической природе меланин представляет собой нерастворимое производное аминокислоты тирозина, а адреналин — растворимое. Считают, что клетки черной субстанции чувствительны к адреналину. Это означает, что при большом физическом напряжении в кровь выделяется адреналин, который и мобилизует пластический тонус. Принимая такую гипотезу о значении меланина и черной субстанции человека, можно полагать, что меланинсинтезирующая система, охватывающая и кожу, и мозг, существенно развилась при переходе от обезьяны к человеку, поскольку повышение концентрации меланина в черной субстанции позволило мозгу работать при более напряженных энергетических режимах, необходимых для выполнения тонкой и длительной работы.

Если наше предположение верно, то формирование кожи как фотохимического и метаболического органа можно отнести ко времени усложнения трудовой деятельности человека, т. е. ко времени перехода от палеоантропов к неандерталам.

Хотя этот момент чрезвычайно важен для нашей реконструкции, роль меланина не ограничивается регуляцией работы пластического центра. Фотохимические реакции с участием меланина, происходящие в коже человека, послужили основой для формирования системы защиты от свободных радикалов, вызывающих серьезные заболевания⁸.

Помимо фотохимической функции, открытая кожа несет и огромную физиологическую нагрузку. Развитая сосудистая система обеспечивает высокий уровень обмена, а также необходимую терморегуляцию. Большое значение в поддержании химического гомеостаза, газообмена и тер-

морегуляции имеет и система потовых желез. По способности сохранять постоянную температуру тела человек занимает первое место среди млекопитающих. И наиболее эффективный механизм адаптации к высоким температурным условиям — потоотделение, позволяющее сохранить высокую работоспособность в зоне жаркого климата. В то же время человек относительно легко может переносить низкие температуры: например, аборигены Центральной Австралии спокойно спят без одежды при 0 °С.

Говоря о сохранении комфорта в условиях низких температур, мы подошли к единственному, на наш взгляд, отрицательному свойству открытой кожи — ослаблению теплоизоляции. Однако этот недостаток настолько существен, что в большинстве климатических зон становится определяющим. Лишь в сравнительно немногих субтропических и тропических районах человекоподобное существо без шерсти могло бы выжить, не страдая от холода, только шерсть, теплая естественная шуба, обеспечивала свободу жизни. Вспомним, что и в процессе эволюции появление шерсти и перьев стало необходимым условием развития теплокровности. А теперь теплокровное существо теряет шерсть! Какой регресс! Но не будем, однако, спешить с выводами.

КАК НАШИ ПРЕДКИ ЛИШИЛИСЬ ШЕРСТИ

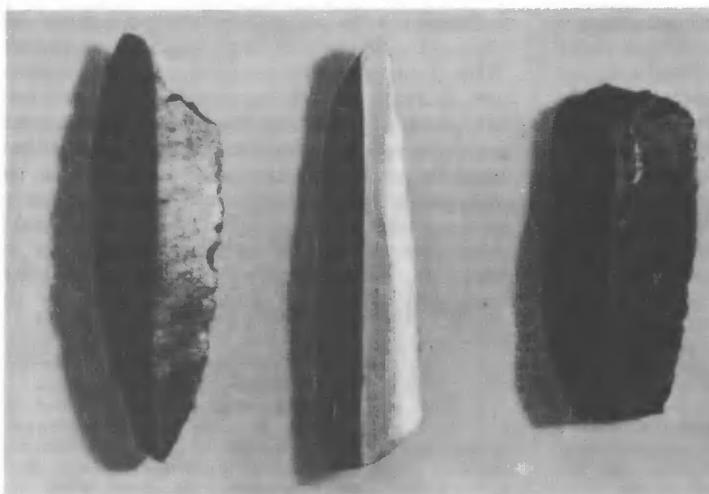
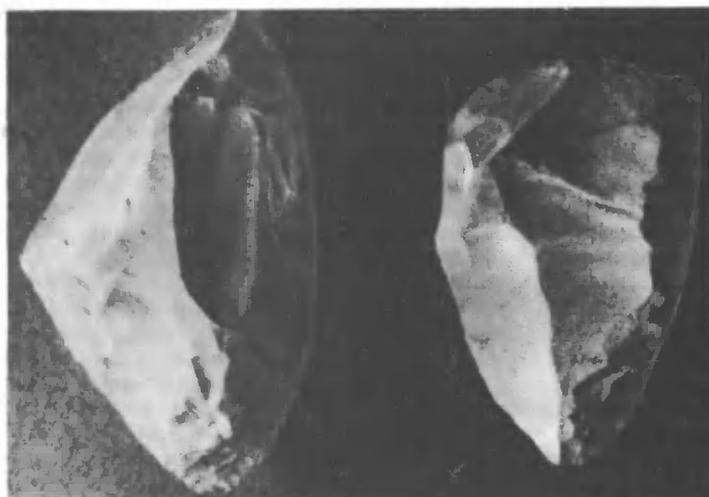
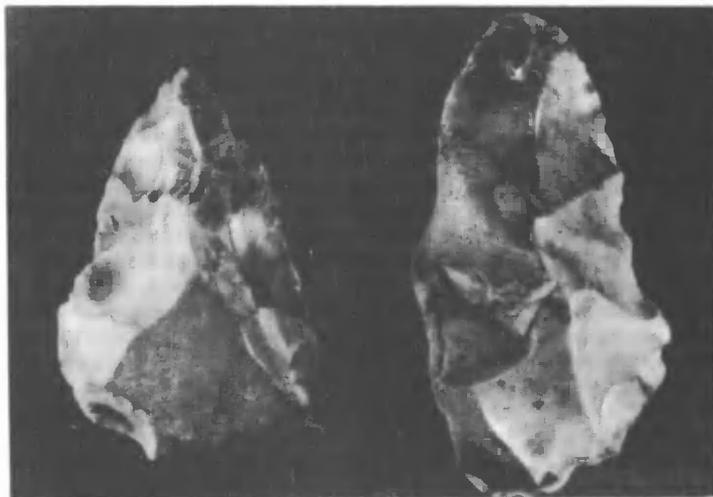
Необходимо отметить один очень важный момент — изменение сроков беременности у неандерталов. По теоретическим расчетам, основанным на хорошо известных для млекопитающих соотношениях между размерами тела матери, плода и сроками беременности, продолжительность беременности у человека должна была бы составлять 11 месяцев⁹. Возможно, у нашего далекого предка так оно и было. Сокращение этого срока до 9 месяцев говорит о том, что в эволюции человека имело место явление, названное известным немецким палеоанатомом Л. Больком фетилизацией (от лат. foetus — зародыш)¹⁰.

По мнению Л. Болька, человек — это половозрелый зародыш обезьяны. Заметим, что плод шимпанзе и гориллы — го-

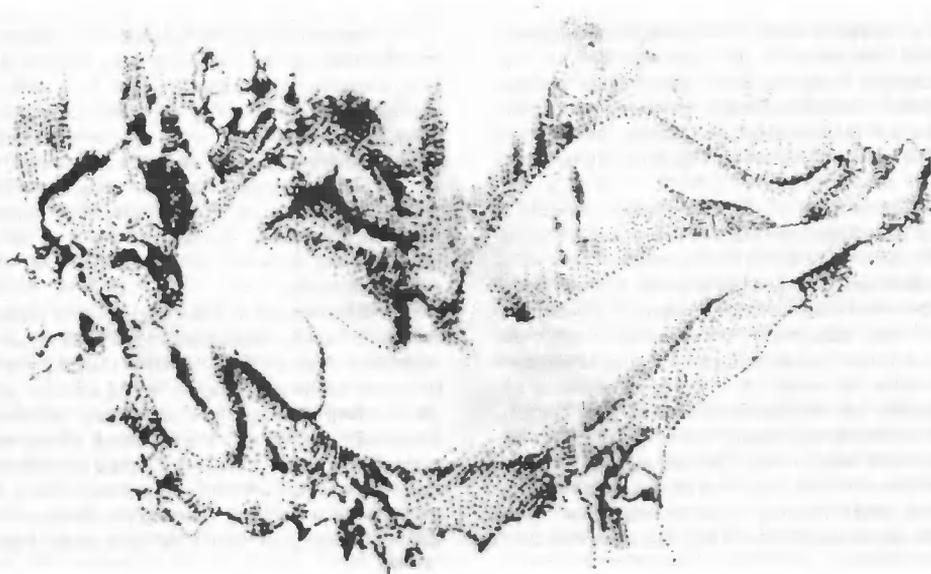
⁸ Ковалев И. Е., Ковалев Е. Н., Тавинцев В. Д. Гипотеза молекулярного механизма заболевания рассеянным склерозом, основанная на генетически детерминированной недостаточности функции меланинсинтезирующей системы организма. — В сб.: Материалы Всесоюзной научной конференции «Использование моделей патологических состояний при поиске биологически активных соединений». М., 1983, ч. 1, с. 77—79.

⁹ Пилбим Д. Происхождение гоминидов и гоминид. — В мире науки. 1984, № 5, с. 38.

¹⁰ Bolk L. Das Problem der Menschenwerdung. — In: Vortrag auf der XXV. Versammlung der Anatomischen Gesellschaft in Freiburg. Jena, 1926.



Каменные инструменты как свидетельство материальной культуры человека — один из важнейших источников информации о жизни первобытного человека. Благодаря их точной датировке можно проследить эволюцию трудовой деятельности человека, а значит, и эволюцию самого человека. Совершенствование технологии обработки орудий происходило со скоростью, сопоставимой с биологической эволюцией наших предков. Наиболее древние орудия, относящиеся к аббильвильской культуре (ранний палеолит, около 600 тыс. лет), почти не несут следов обработки (вверху). Тот же тип орудий характерен и для более поздней мустьеерской культуры (средний палеолит, 100—30 тыс. лет); хотя здесь и появляются разные формы орудий, внешне они мало чем отличаются от аббильвильских рубил (в центре). Прогресс в изготовлении орудий становится заметным на самых ранних этапах позднего палеолита (ориньяк, мадлен, 30—12 тыс. лет). Для этого времени наиболее характерными были разные типы скребков (внизу). Многие из орудий ориньяка уже могли использоваться для обработки шкур.



Рельеф отдыхающей женщины (поздний палеолит, Ла Мадлен, Франция), свидетельствующий о появлении настоящего искусства.

дый, но с густой шапкой волос на голове. Принимая во внимание эту концепцию, можно предположить, что потеря волосного покрова произошла у человека в результате фиксации имеющейся у гоминид онтогенетической программы, соответствующей во времени 8—9 месяцам эмбрионального развития. Сокращение сроков беременности могло быть вызвано также изменением морфологии женского таза, связанной с абсолютным прямохождением современного человека, что сделало довольно легкие прежде роды более тяжелыми.

Больк полагал, что возможная причина такого запаздывания развития могла быть связана с деятельностью эндокринных желез. Если принять эту точку зрения, то надо попытаться найти причину гормонального сдвига, сопутствующего, а может быть и предшествующего, появлению голого человека. Не исключено, что такой сдвиг произошел в связи с изменившимися климатическими условиями. Из всех известных факторов, влияющих на репродуктивный цикл, наиболее эффективны свет и фото-периодизм. А это значит, что процесс «сбрасывания шерсти» антропоидными предками не мог обойтись без гормональных сдвигов и в частности без изменения

обмена стероидных гормонов, к которым мозг также чувствителен¹¹. Таким образом, кажущийся на первый взгляд второстепенным, процесс утраты шерсти должен был сопровождаться существенными сдвигами в различных системах организма.

ВРЕМЯ ДЕЙСТВИЯ — ВЮРМ

Постараемся теперь определить время утраты волосного покрова нашими предками и логически проследить последствия этого события. Напомним, что общие соображения о роли поверхности в эволюции привели к мысли о том, что рассматриваемые нами события должны были предшествовать самому значительному качественному скачку в истории становления человека — возникновению второй сигнальной системы, отличающей человека от всех животных. Появление второй сигнальной системы — неперенное условие превращения инстинктивной орудийной деятельности в сознательный труд. С момента возникновения второй сигнальной системы социальные отношения господствуют над биологическими, начинается история собственно человеческого общества с быстрым темпом изменений орудий труда, технологий, образа жизни. Время становления второй сигнальной системы, по Б. Ф. Порш-

¹¹ Ewen B. S., Davis P. C., Parsona B.—Ann. Rev. Neurosci. 1979, v. 3, p. 65.

неву, соответствует переходу от палеоантропов к неантропам; точнее, возникновение этой системы и составляет самую существенную сторону становления человека. Появление неантропов относят к эпохе Вюрмского оледенения; скорее всего, это произошло приблизительно 40—50 тыс. лет назад.

Анализируя свойства кожи человека, мы уже дважды приходили к этой же временной границе потери шерстистого покрова. Первый раз, обсуждая роль голой кожи как фотохимического и метаболического органа, мы обратили внимание, что развитие меланинсодержащей системы в коже и особенно появление в мозгу меланинсодержащей, так называемой черной субстанции было необходимо, чтобы выдерживать длительные нагрузки, связанные с тонкой координацией движений рук: ведь для изготовления ювелирно точных орудий типа шила, иглы и других, появившихся именно у неантропов, требовались именно такие движения. Второй раз указание о приблизительно том же времени мы получили, рассматривая механизм изменения гормонального уровня древнего человека.

Итак, по крайней мере три независимых соображения приводят к близкому временному интервалу; т. е. потеря волосяного покрова предками человека наиболее вероятно произошла приблизительно в середине Вюрмского оледенения.

ПОТЕРИ И ПРИОБРЕТЕНИЯ

Попытаемся представить себе вероятные последствия утраты шерсти на фоне уже известной в определенной степени картины эволюции предков человека и окружающей их среды. При этом мы будем учитывать, что голая кожа, во-первых, имеет один большой недостаток — высокую теплопроводность, т. е. незащищенность организма человека от охлаждения, и во-вторых, дает ряд преимуществ.

Эти преимущества связаны с возможностью активного и, главное, тонкого труда, что стало возможным благодаря более совершенной рецепции, развитию соответствующих отделов мозга и системы пототделения. Но проявиться эти преимущества могли лишь в случае, если главный недостаток — незащищенность от холода — был преодолен. Здесь на помощь человеку пришли одежда, жилище и огонь. Причем основным средством защиты от холода могла стать одежда, поскольку только она давала возможность бесшерстному существу вести активную жизнь вне жилища, вдали

от огня, в условиях низкой температуры.

Наши далекие предки — питекантропы более полумиллиона лет назад довольно широко расселились на планете, в том числе и в области умеренного климата. Уже тогда они научились пользоваться огнем, позволявшим им согреться в холодное время суток. Остатки одного из таких древних костров, горевшего без перерыва многие столетия (слой пепла и угля достигает 6 м) найден в знаменитой пещере под Пекином.

Жилищем могли служить и давно служили людям пещеры. Но с одеждой было гораздо сложнее. Чтобы приготовить из шкуры не мешающую и удобную для передвижения и работы одежду, требовалась сложная технология и весьма совершенные орудия. Едва ли можно предположить, что палеоантропы имели одежду (не просто шкуры, а именно одежду). Значит, отсутствие одежды было основным препятствием для появления и распространения бесшерстного предка человека. Но не менее обоснованно и предположение, что потеря волосяного покрова должна была стать мощным стимулом к использованию всех накопленных к этому времени потенциальных возможностей для тонкого труда, в том числе и в первую очередь — изготовления одежды.

Питекантропы и синантропы сменились неандертальцами. Мозг неандертальцев увеличился по сравнению с мозгом питекантропа в 1,5 раза и почти достиг размеров мозга современного человека. Рука неандертальцев также мало чем отличалась от нашей руки. Они, конечно, владели огнем. Однако орудия неандертальцев были еще примитивными. У них не было развитой речи, но уже тогда в недрах первой сигнальной системы сложились все необходимые предпосылки для появления второй сигнальной системы. Первоначально возникающая вторая сигнальная система служила не для передачи информации о внешнем мире, а выполняла императивную роль, т. е. позволяла управлять поведением другого индивидуума (согласно концепции Б. Ф. Поршнева).

Неандертальцы жили примерно 100—200 тыс. лет назад, а современные люди — неантропы — появились примерно 40 тыс. лет назад. Развитый подбородачный выступ и другие морфологические признаки неантропов говорят о том, что у них была уже развита речь. Заметно эволюционировали и орудия труда. На смену медленно прогрессирующим рубилам пришли более совершенные орудия: игла, шило,

разнообразные ножи и специализированные скребки, а чуть позже (приблизительно 30 тыс. лет назад) появилось настоящее искусство.

Труд качественно меняется! Требуются тонкие движения пальцев рук, необходимо иметь в голове сложный пространственный план изделия, четкие представления о последовательности операций. Появляется потребность передачи сложного технологического опыта, необходимость передачи информации в виде монолога. Если инстинктивная орудийная деятельность с помощью палок и рубил продвинула человечество до стадии неандертальцев, то только качественно более сложный труд, требующий кооперации людей, передачи знаний, труд, с использованием различных инструментов, превратил неандертальца в современного человека.

По современным представлениям, неантропы и неандертальцы находятся в тесном родстве. Скорее всего, неантропы появились в результате быстрого прогресса некоторой части неандертальцев, другие же популяции неандертальцев остались на прежнем уровне развития и были вытеснены или частично смешались с прогрессивными, а часть их, возможно, даже регрессировала. Нарисовать общую картину нелегко. Находить не так много, а пространство, на котором происходило биологическое становление челрвека, достаточно велико: Западная, Центральная и Восточная Европа, Сибирь, Средняя и Передняя Азия, Дальний Восток, Африка. Однако ясно, что так или иначе исторически в короткий срок неандертальцы исчезли с лица Земли, и современный человек — их прямой потомок или близкий родственник — заселил и прежнюю ойкумену неандертальцев, и вообще практически всю Землю.

Сейчас уже ясно и то, что процесс этот шел неравномерно: вытеснение неандертальцев неантропами шло в одних районах быстрее (Ближний Восток, Восточная Европа), чем в других (тропическая область). Чем же выделялись области наиболее быстрого становления современного человека в то время? Они находились вблизи периодически наступающих и отступающих ледников.

Неандертальцы, оказавшиеся 100 тыс. лет назад в условиях резкого похолодания (Вюрмское оледенение), стали приспосабливаться путем традиционных для животных адаптаций: усиление волосяного покрова, укрупнение тела, укорочение конечностей. Однако еще через 60 тыс. лет, в разгар ледникового периода, как это ни удивительно, появились и современные люди с голой

кожей, которые очень скоро вытеснили «классических» неандертальцев.

Голая кожа не только заставила человека совершенствовать свой труд, но способствовала развитию мозга еще и по другой линии. Можно сказать, что с появлением голой кожи образовалась огромная поверхность тела, снабженная высококодифференцированными и тонкими рецепторами различных сигналов из внешней и внутренней среды. Это потребовало соответствующего развития анализаторных систем мозга. Функция мозга существенно усложнилась, стала развиваться умственная деятельность.

Кроме того, голая кожа дала значительное чисто биологическое преимущество: появилась возможность развить важные для жизни фотобиологические системы. Например, интенсивный синтез витамина D из стероидов под влиянием света избавил человека от рахита (некоторым подтверждением такого взгляда может служить факт искривленности костей классических неандертальцев). Предшественники «классических» неандертальцев, жившие в условиях доледникового периода, и неантропы их современники, таких дефектов не имели.

Все сказанное приводит к выводу, что потеря шерсти не только не ослабила адаптивных возможностей наших предков, но и дала им большие преимущества. Голая кожа стала последним необходимым условием качественного скачка в трудовой деятельности предка человека. Появление этого, на наш взгляд, четвертого важного признака, сыгравшего большую роль в становлении человека, замкнуло цепь «рука — труд — мозг» на качественно новом уровне, т. е. повисла необходимость творчества. И оно возникло.

Феномен Шкловского

Н. С. Кардашев,

член-корреспондент АН СССР

Л. С. Марочник,

доктор физико-математических наук

Институт космических исследований АН СССР
Москва

1 июля 1986 г. Иосифу Самуиловичу Шкловскому — человеку, оказавшему заметное, во многом определяющее влияние на современную астрофизику — исполнилось бы 70 лет. Это не некролог. Некрологи пишутся по определенным канонам, в рамки которых личность Иосифа Самуиловича не вписывается.

*

Он родился на Украине в г. Глухове. В 1933 г. поступил на физико-математический факультет Владивостокского университета и через два года перешел на физический факультет Московского университета. В 1938 г. молодого физика-оптика приняли в аспирантуру на кафедру астрофизики Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (ГАИШ) при МГУ; с этим институтом он будет связан всю жизнь. Далее — начало войны, эвакуация в Ашхабад (из-за плохого зрения на фронт не взяли), затем — возвращение в Москву, в ГАИШ, и многие годы — на передних фронтах революции в астрономии, начавшейся после войны.

За последние 40 лет, сопровождавшихся беспрецедентным развитием методов и техники наблюдений (радиотелескопы и радиоинтерферометры, инфракрасная, ультрафиолетовая, рентгеновская и гамма-астрономия), были открыты новые классы объектов — радиозвезды, радиогалактики, квазары, иртроны, пульсары, мистериум, космические барстеры, источники гамма-всплесков, фоновое излучение во всех диапазонах, и в частности реликтовое радиоизлучение (название пред-

ложено И. С. Шкловским). «Вопрос: что это такое? — должен быть центральным» — это главный завет Шкловского молодым исследователям. Он одним из первых осознал необходимость изучения любого астрономического объекта во всех диапазонах электромагнитного излучения. Только в этом случае можно надеяться построить правильную модель и понять, что собой представляет объект.

Кандидатская (1944 г.) и докторская (1949 г.) диссертации Шкловского были посвящены физике солнечной короны. Его первые работы об ультрафиолетовом и радиоизлучении Солнца вышли в 1946 г., когда ракетная астрономия в наиболее жесткой части спектра и радиоастрономия в длинноволновой области еще только делали свои первые шаги.

К 1947 г. относится его работа о галактическом радиоизлучении; в том же году он участвовал в экспедиции по наблюдению солнечного затмения в Бразилии. Первые экспедиция была оснащена радиотелескопом. С 1950 г. Шкловский принимал участие в первых наблюдениях в инфракрасном диапазоне с использованием электронно-оптических преобразователей, а в 1953 г. вышла его пионерская работа «Инфракрасное излучение Галактики».

Зимой 1952/53 гг. Иосиф Самуилович впервые в мировой практике прочел в МГУ курс лекций «Радиоастрономия»; слушателями были не только студенты, но и многие научные сотрудники различных институтов. В лекциях Шкловского перед ними открылся новый мир; оказалось, радиоволны излучаются не только радиостан-



ИОСИФ САМУИЛОВИЧ ШКЛОВСКИЙ.
18.VI [1.VII] 1916 — 3.III 1985.

циями, а практически всеми астрономическими объектами во Вселенной: и Солнце, и Луна, и планеты, и звезды, и галактики, и какие-то еще неизвестные источники посылают сигналы, свойства которых строго связаны с необычными физическими процессами, протекающими в этих объектах, и позволяют определить важнейшие параметры областей, генерирующих радиоволны.

Понимая важность новых методов наблюдения в астрофизике, связанных с освоением новых диапазонов электромагнитного излучения, Шкловский создал в 1953 г. в ГАИШ отдел радиоастрономии,

который почти сразу стал «отделом всеволновым».

С самого начала, т. е. с 1957 г., Иосиф Самуилович активно участвовал в становлении и развитии космических исследований в нашей стране, понимая, что только с их помощью астрономия может стать действительно всеволновой. Осенью 1959 г. с борта 2-й советской лунной ракеты было выпущено облако натрия — шел эксперимент «искусственная комета». Резонансную флуоресценцию атомов натрия под воздействием солнечных лучей можно было легко наблюдать и исследовать с Земли. Первоначально эти эксперименты послужили

ли для индикации местоположения космических аппаратов, а в дальнейшем — для изучения свойств верхней атмосферы Земли и межпланетной среды. В них моделировался процесс, который был хорошо известен Иосифу Самуиловичу из физики межзвездной среды. За эксперимент «искусственная комета» И. С. Шкловский в 1960 г. был удостоен Ленинской премии.

В 1966 г. Шкловский был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1967 г. им был сформирован во вновь созданном Институте космических исследований АН СССР отдел астрофизики, включавший лаборатории, изучающие космос во всем диапазоне электромагнитного спектра.

Почти каждая работа Шкловского опирается в первую очередь на наблюдаемые данные и содержит новую четкую физическую идею. Характерная особенность этих работ — доведение теории до расчета ожидаемых эффектов и оценка возможности их наблюдательной проверки. Иосиф Самуилович одним из первых проанализировал глубокую связь различных физических процессов, определяющих особенности излучения, характерные для разных областей спектра. На этой основе им была создана современная теория солнечной короны, а комплексное исследование спектров галактических и внегалактических источников позволило в дальнейшем выделить области ионизованного газа и области с электронами, имеющими релятивистские энергии. Особенно большое значение имели работы Шкловского, объяснившие единым механизмом излучения радио- и оптический спектры Крабовидной туманности (остатка взрыва сверхновой звезды в нашей Галактике), и аналогичная работа по радиогалактике Дева А. В исследовании космического фонового радиоизлучения, оставшегося от эпохи сверхплотного состояния Вселенной, Иосифу Самуиловичу принадлежит фундаментальная работа, выполненная через год после открытия реликтового фона. Аномально высокая интенсивность оптических спектральных линий молекулы CN в межзвездном газе была объяснена как результат воздействия на нее именно фонового радиоизлучения. Так было доказано, что реликтовое излучение действительно возникает за пределами Солнечной системы.

Особенно важное значение имела работа Шкловского о новом методе определения расстояний до планетарных туманностей и установления их основных физических параметров. По-видимому, именно эта работа и навела Иосифа Самуиловича

на мысль о переменности радиоисточников, образовавшихся в процессе мощного взрыва. В последние годы Шкловский вернулся к проблеме планетарных туманностей. Им была выдвинута гипотеза о том, что ядра некоторых из них могут быть предсверхновыми звездами. Остывая, они теряют устойчивость, что может приводить к взрыву сверхновой звезды первого типа. Иосиф Самуилович выполнил большой цикл работ, посвященных физике взрывов сверхновых звезд, ядер галактик, квазаров, исследовал свойства оболочек из газа и релятивистских частиц, которые образуются при этих взрывах. Асимметрия таких взрывов, согласно его гипотезе, объясняет большие скорости движения пульсаров и то, что старые нейтронные звезды должны образовывать протяженное гало около галактики. Возможно, с этими объектами связаны неотожествленные пока источники гамма-импульсов. Точно так же взрывы в ядрах галактик могут приводить к выбросу из них сверхмассивных черных дыр.

Другое важнейшее направление, связанное с именем Шкловского, — развитие исследований спектральных линий в радиоастрономии. Еще в 1948 г., основываясь на пионерской работе голландского астрофизика Х. ван де Хюлста, Иосиф Самуилович рассчитал интенсивность главной радиолнии атомарного водорода (длина волны 21 см) — основного компонента межзвездной среды — и показал, что она может быть обнаружена. Им предсказана возможность наблюдения многих молекул, имеющих в межзвездной среде. Указанные им четыре линии гидроксила OH на волнах около 18 см были обнаружены через 10 лет, линия CN — через 17 лет. Шкловский выдвинул также гипотезу, согласно которой в районах Галактики, где рождаются молодые звезды и новые планетные системы, излучение в молекулярных линиях может быть аномально сильным. Эти идеи также определили одно из направлений современной астрофизики.

Велика роль Шкловского в философском осмыслении последних достижений современной науки (в том числе астрофизики) и связанной с ними проблемы существования внеземных цивилизаций, понимания места человечества в Космосе и его роли в преобразовании окружающего мира. Только небольшую часть своих взглядов на эти проблемы он успел изложить в ряде статей и книге «Вселенная, жизнь, разум», выходу в свет которой очень способствовал М. В. Келдыш.

Большой талант Шкловского как ученого и философа, оригинальность мыслей и простота их изложения, темперамент оратора и благожелательность к жаждущим знаний, многочисленные выступления перед специалистами и широкой аудиторией снискали ему большую известность и признание.

Наиболее характерными чертами Иосифа Самуиловича как ученого были беспредельный интерес к фактам, поиск главного, стремление к простоте в понимании явлений природы, талант всегда быть на переднем крае.

Он создал школу современной всеволновой эволюционной астрофизики. Многие астрономы как нашей страны, так и за рубежом испытали сильнейшее влияние его личности¹.

ПО ГАМБУРГСКОМУ СЧЕТУ

Он начинал десятником на БАМе в 1932 г., имея 16 лет от роду (БАМ строился уже тогда). Кончил главой всемирно известной научной школы, членом множества академий, кавалером золотой Брюсовской медали, которая среди астрономов и астрофизиков котируется столь же высоко, как Нобелевская премия среди физиков.

Известно, что Л. Д. Ландау однажды с горечью сказал: «Я немножко опоздал родиться. Мне бы сделать это на 6—7 лет раньше». Имелось в виду, что к началу «золотого века физики»² (1925 г.) ему было только семнадцать, а к 1930 г., когда он попал в Копенгаген к Нильсу Бору, весь фундамент квантовой механики был уже заложен чуть более «старыми» В. Гейзенбергом, П. Дираком, В. Паули и др.

В этом смысле Иосифу Самуиловичу повезло. Родился он вовремя.

Древнейшая из наук — астрономия — пережила за время своего существования две революции, каждая из которых коренным образом изменила ее лицо. Первая произошла в декабре — январе 1609—1610 гг., когда Галилей впервые навел на небо телескоп. Некоторые историки утверждают, что известна точная дата этого со-



Автопортрет.

«...В детстве я был чрезвычайно далек от всякого рода техники, испытывая к ней только чувство тоскливого отращения. По призванию автор этих строк — художник. Я стал рисовать с помощью «подручных средств» — мела, кусочков битого кирпича [других изобразительных средств у меня не было — времена были суровые и нищета была полная] с трех лет. С тех пор я рисовал почти всюду и везде. Вплоть до окончания физического факультета Московского университета в 1938 г. я еще колебался в выборе жизненного призвания. Сделав, однако, такой выбор, я полностью бросил искусство». (Шкловский И. С. Из истории развития радиоастрономии в СССР. М., 1982. Сер. «Космонавтика, астрономия». № 11. С. 3.)

бытия — 7 января 1610 г. Начиная с этого момента человек стал исследовать Вселенную вооруженным глазом.

Вторая революция в астрономии началась во второй половине нашего столетия. Мы — ее современники. Атмосфера Земли непрозрачна почти для всех электромагнитных волн, идущих из космоса. Есть только два окна прозрачности: одно — в оптическом, второе — в радиодиапазоне. Именно второму окну прозрачности мы обязаны существованием столь многого достигнутой современной радиоастрономии. Но все ос-

¹ Более подробно о фундаментальных работах И. С. Шкловского см.: Памяти Иосифа Самуиловича Шкловского // Успехи физ. наук. 1985. Т. 146. С. 719—720.

² Выражение принадлежит П. Дираку; он произнес эти слова при получении премии им. Р. Опенгеймера.

тальное излучение Вселенной недоступно наблюдениям с Земли, и вторая революция в астрономии состоит в том, что благодаря освоению космического пространства человек вынес свои приборы за пределы земной атмосферы и сейчас измеряет сигналы, которые излучает Вселенная, почти во всем диапазоне электромагнитных волн.

Перефразируя слова Дирака о «золотом веке физики», можно сказать, что Шкловский не опоздал к началу «золотого века астрофизики» — он стоял у истоков отечественной и мировой радиоастрономии, у истоков современной всеволновой астрофизики. Впрочем, пусть сам Иосиф Самуилович расскажет о том, как вторая революция в астрономии вторглась в Москву и как он оказался у ее колыбели:

«Для меня все началось с того, что мне зачем-то понадобился мой бывший шеф по аспирантуре в ГАИШ, милейший человек — Н. Н. Парийский. Это было в начале лета 1946 г. После нескольких безуспешных попыток его найти мне удалось установить, что он находится в ФИАН.

Тогда Физический институт АН СССР (попросту ФИАН) еще не занимал своего нынешнего места на Ленинском проспекте. Помню, как поражали мое воображение лампы дневного света в его конференц-зале — едва ли не первые в Москве. Я вошел в конференц-зал, тщательно высматривая там Николая Николаевича. Увы, мне его найти не удалось в переполненном людьми зале, и я невольно стал прислушиваться к голосу докладчика — средних лет человека в полковничьих погонах. (...) Говорил он тогда (по-видимому, это было сообщение обзорного характера) о том, что во время недавно окончившейся войны офицеры радарной службы Королевских военно-воздушных сил Великобритании обнаружили, что Солнце излучает радиоволны в метровом диапазоне.

Эта новость меня тогда буквально поразила. Докладчик уже давно перешел на другую, чисто радиотехническую тему, а я, сидя в конце большого конференц-зала, сосредоточенно думал, что может означать этот необычный астрономический феномен? К этому времени я уже три года работал над проблемами солнечной короны и в какой-то степени разобрался в плазменной физике (хотя всегда предпочитал ей казавшуюся мне более конкретной спектроскопию).

По-видимому, в то далекое второе послевоенное лето в конференц-зале ФИАН случилось своеобразное явление резонанса — я был внутренне настроен на эту информацию. Так или иначе, но к концу доклада я уже понял для себя, что это за явление природы — радиоизлучение Солнца (а ведь прошло меньше полутора часа, как я попал в этот зал). Но в жизни бывают (увы, очень редко!) такие минуты озарения. Мне пришлось пережить такое в моей последующей научной жизни только 2—3 раза³.

Так все началось. Что же было потом? Потом был ряд открытий, каждого из которых достаточно, чтобы имя их автора не было забыто в науке.

«Природу» читают в основном научные работники. Все они знают, что между собой профессионалы в науке судят друг о друге по гамбургскому счету⁴. Обычный вопрос:

— Такой-то? А что он сделал?

Что, так сказать, за ним «записано» в науке? Это прекрасно понимал Шкловский, сказавший однажды о Г. А. Гамове.

«Я считаю Г. А. Гомова, пожалуй, крупнейшим русским физиком XX века. В конце концов, от ученого остаются только конкретные результаты его труда. Применяя футбольную аналогию, имеют реальное значение не изящные финты и дриблинг, а забитые голы. В этом сказывается жестокость науки. Гамов обессмертил свое имя тремя выдающимися «голами»: 1) теория α -распада, более обще — «подбарьерные» процессы (1928 г.); 2) теория «горячей Вселенной» и как следствие ее — предсказание реликтового излучения (1948 г.), обнаружение

³ Шкловский И. С. Из истории развития радиоастрономии в СССР. М.: Знание, Сер. «Космонавтика, астрономия». 1982. № 11. С. 7—8. Все мы знали Иосифа Самуиловича как превосходного рассказчика, скорее, даже новеллиста. Рассказывать он любил, делал это охотно и мастерски, всегда и везде собирая при этом (не прикладывая к тому ни малейших усилий) большую аудиторию. Каждый его рассказ был небольшой новеллой, «написанной» яркими мазками мастера, всегда с неожиданным, парадоксальным концом. Они чем-то напоминали рассказы И. Бабеля и новеллы О'Генри. Многие из них хранятся в архиве семьи. Благодаря этому мы можем еще раз «услышать» живого Шкловского, время от времени предоставляя слово ему самому. Эти отрывки будут далее следовать без дополнительных специальных пояснений.

⁴ Иосиф Самуилович часто употреблял этот термин, который восходит к книге его однофамильца и дальнего родственника писателя В. Б. Шкловского «Гамбургский счет». «...Там рассказывалось, — вспоминал И. С. Шкловский, — что до революции, когда не было ни телевидения, ни хоккея, ни многих других «достижений» нашего беспокойного «Ха-Ха» века, народ с ума сходил на «мировых чемпионатах» французской борьбы. Увлекались этим и Блок, и Куприн, и гимназисты. Повсюду — в Одессе, Екатеринославе, Самаре, одним словом, везде — устраивались в цирках чемпионаты мира. Заранее все было расписано, что сегодня Лурих на 6-й минуте туширует «ужасного африканского борца Бамбулу», а послезавтра все будет наоборот. Это было только коммерческим зрелищем. Но раз в году все эти чемпионы собирались в Гамбурге, в одной таверне, хозяином которой был старый борец. И там они боролись по-настоящему, без публики и прессы. И у них между собой всегда был свой «гамбургский счет» побед и поражений».

которого в 1965 г. ознаменовало собой новый этап в космологии; 3) открытие феномена генетического кода (1953 г.) — фундамента современной биологии».

Пользуясь той же футбольной терминологией, можно сказать, что по числу забитых «голов» Шкловский был одним из самых результативных советских астрофизиков и, безусловно, входил в символическую «сборную мира» на первых ролях.

Шкловский:

предсказал, что радиолиния на длине волн 21 см, излучаемая всеми находящимися в основном состоянии атомами водорода в Галактике, должна быть наблюдаема. Через два года линию обнаружили. Это позволило буквально «пересчитать» все водородные атомы межзвездной среды, исследовать ее кинематику и динамику. Радионаблюдения на волне 21 см — теперь самый эффективный и распространенный метод изучения динамики Галактики и ее ближайших соседей;

объяснил природу свечения Крабовидной туманности (одного из самых интересных объектов на небе) во всем диапазоне длин волн, от оптики до радио, единым физическим механизмом — синхротронным излучением электронов в магнитных полях. Глубокая нетривиальность ситуации состояла в том, что впервые в астрономию был введен «неклассический», принципиально новый механизм оптического излучения. До этого момента астрономы имели дело только с «обычным» тепловым излучением различных космических объектов. Так же, как статья о «21 см», эта работа открыла собой новый этап в развитии астрофизики;

объяснил природу планетарных туманностей, доказав, что они являются закономерной фазой эволюции определенного типа звезд, так называемых красных гигантов, и что их ядра быстро эволюционируют в белые карлики, причем основная часть последних возникает именно таким способом. Эта работа не менее чем на 10 лет опередила свое время и указала новый, не известный ранее путь эволюции вещества во Вселенной.

Его научное наследие составляет более двухсот статей, не говоря о книгах; практически все они написаны... без соавторов! Профессиональным научным работникам нет нужды объяснять, что это значит.

Несмотря на то, что казалось бы «крайний индивидуализм» в науке, Шкловский, как уже говорилось, был главой крупной научной школы. Многие его ученики были выпестованы им буквально с «университет-

ских пеленок». Впрочем, об этой стороне феномена Шкловского гораздо полнее написано в уже упоминавшейся статье в «Успехах физических наук».

СУММА ЗАПРЕТОВ

Отношения Иосифа Самуиловича с кино были непростыми. Будучи по натуре художником и тонким ценителем искусства, он резко отрицательно относился к некоторым кинодеятелям. На то у него были свои причины. За свою долгую жизнь в астрономии ему не раз и не два приходилось выступать в роли консультанта, рецензента и т. п., и всегда происходили какие-то недоразумения и накладки по причине необязательности или недобросовестности работников кино. Широко известна, например, история с «Солярисом» А. Тарковского, выходу на экран которого немало способствовал Шкловский. Другу-гуманитарию попросили его собрать астрономическую общественность и привезти на «Мосфильм» для обсуждения и поддержки этого фильма.

«Стоял лютый мороз с обжигающим ветром. Непросто было собрать человек 15 «пайщиков» и привезти их общественным транспортом к проходной Мосфильма. В качестве «свадебного генерала» я уговорил ехать Якова Борисовича Зельдовича — академика и трижды Героя. И тут вдруг случилась накладка: пропуска на нас не были заказаны, хотя накануне мне в институт звонила какая-то приближенная к Тарковскому особа и настойчиво нас приглашала, заверяя, что организационная часть обеспечена. Минут 15 толкались мы в холодной проходной. Тщетно я метался от окошка к окошку, пытаюсь найти хоть какие-нибудь концы. Можно себе представить, как на меня смотрели мои коллеги! В отчаянии я шутя (хотя было не до шуток) попросил Якова Борисовича подойти к окошку и щегольнуть своими тремя золотыми звездами. «Ничего не выйдет. Подумают, что муляж!» — ответил Я. Б., обнаружив тонкое понимание специфики кино. Так и ушли мы ни с чем. Через несколько дней я узнал, что обсуждение фильма Тарковского отменили, о чем нас не соизволили известить. Тарковский даже не извинился».

Неудивительно, что когда во время визита в Москву знаменитый итальянский кинорежиссер Антониони, известный нашим зрителям «Красной пустыней», «Затмением» и другими не менее превосходными фильмами, передал Иосифу Самуиловичу приглашение приехать к нему в гостиницу для разговора, последний отказался, причем не в самой вежливой форме. В результате последовал телефонный звонок с «Мосфильма», из которого явствовало, что к 15 часам — времени, назначен-



Зарисовки И. С. Шкловского с натуры.

«В эти годы я как никогда раньше много и успешно рисовал с натуры... Увлекался новой для меня техникой — сангиной и тушью. Сеансы обычно длились 40 минут, больше натурщики не выдерживали. Я достиг своего пика в искусстве портрета как раз в это время. Почти все портреты я роздал оригиналам. кое-что осталось — иногда я сам удивляюсь, как это я мог так рисовать — ведь никогда не учился!»

ному Шкловским,— маэстро прибудет в ГАИШ.

«...Девочки бросились в мой захлапленный кабинет, где кроме моего, стояло три стола. И еще огромное, продавленное старое кресло. Они лихорадочно стали «наводить маршкет», готовясь к приему знаменитости. «Отставить,— рявкнул я.— Мы его примем в стиле итальянского неореализма. Так сказать, под небом Сицилии!».

Ровно в 15 часов во двор института въехал кортеж роскошных машин. Маэстро приехал со своей киногоруппой в сопровождении весьма малоквалифицированной переводчицы, от услуг которой я сразу отказался. Антониони оказался очень симпатичным, немного грустным немолодым человеком, одетым с подчеркнутой простотой. По-английски он говорил так же плохо, как и я, что, конечно, способствовало взаимному пониманию.

«Чем могу служить?» — спросил я. «Видите ли, я задумал поставить фильм-сказку. По ходу действия дети, играющие в городском дворе — настоящем каменном мешке,— запускают воздушного змея, который улетает в Космос. Может ли это быть?» — «Вы придумали, маэстро, прелестную сказку, а в сказке все возможно!» Насчет сказок Антониони разбирался, во всяком случае, не хуже меня. Нет, его интересовало — может ли это быть с точки зрения науки! «Я вынужден Вас разочаровать — с точки зрения науки этого не может быть!» — «Я понимаю,— сказал Антониони,— что этого не может быть с точки зрения науки сегодняшнего дня. Но, может быть, через 200—300 лет наука уже не будет исключать такую возможность?» — «Боюсь, что и через 1000 лет позиция науки в этом пункте не изменится. Разве что детишки оснастят свою игрушку каким-нибудь аннигиляционно-гравитационным двигателем». Нет, какой-нибудь двигатель маэстро не устраивал — он разрушал его милую задумку. Я стал ему объяснять, что только первобытные люди и современные, обремененные полужнаниями цивилизованные дикари верят (именно верят) в безграничные возможности науки. На самом деле настоящая наука — это сумма запретов. Например, вся физика состоит из трех запретов: а) нельзя построить перпетуум мобиле первого и второго рода, б) нельзя передать сигнал со скоростью, большей, чем скорость света в пустоте, в) нельзя одновременно измерить координату и скорость электрона. Антониони помрачнел. Запреты ему были явно не по душе».

Нам кажется, эта парадоксальная, но глубокая идея относится не только к настоящей науке. Разве, когда мы говорим о настоящей порядочности или настоящей интеллигентности, речь идет не о сумме запретов (разумеется, на подсознательном уровне)? Сумма запретов Шкловского была абсолютной. Как в физике.

ДОБРО ДОЛЖНО БЫТЬ КОНКРЕТНЫМ

Иосиф Самуилович не был святым. Бесплезно, да и не нужно канонизировать его образ. Он был слишком талантлив, талантлив во всем — обаяние и масштабность его личности ощущал каждый, кто так или иначе с ним сталкивался.

Как вспоминает В. С. Бердичевская (ГАИШ): «...научные педанты не прощали ему смелости и риска. Но молодежи, мне кажется, нужно учиться такому бесстрашию. Он всегда был окружен друзьями и учениками — большой группой талантливых молодых астрофизиков. Но его острое слово, разящее, как пушкинская эпиграмма... создавало ему немало врагов».

Очень давно, около сорока лет назад, Шкловскому, еще молодым человеком, повезло попасть в экспедицию по наблюдению солнечного затмения. Экспедиция была направлена в Бразилию на пароходе «Грибоедов». Руководил экспедицией патриарх советской астрономии академик А. А. Михайлов — образованнейший, интеллигентнейший человек.

«...Особенно тяжело было мне и другим молодым участникам, не имевшим опыта светских раутов и не знавшим тонкостей правил поведения за столом. Какие уж тут тонкости, когда всю войну я воспитывал свой характер в направлении стоицизма: донести целый домой довесок пайкового хлеба... Я постоянно попадал вприсак. Трудности начинались с заказа: меню было на французском языке. Дабы упростить ситуацию, я всегда садился рядом с Александром Александровичем Михайловым — начальником нашей экспедиции, что было, конечно, не так-то просто. После этого я механически повторял его заказ. Скоро, однако, я убедился, что такая стратегия порочна, так как лишает меня возможности отведать неслыханно вкусных мясных жареных блюд. Увы, наши с А. А. вкусы оказались полярно различны — он был на строгой диете. И тогда я пустился в опасную самостоятельность, в критические минуты обращаясь к начальнику за консультацией. Помню, как-то я довольно безуспешно ковырял какую-то экзотическую рыбку вилкой. «Что Вы делаете?» — тихо прошипел А. А. «Пытаюсь вилкой, ведь нельзя же рыбу — ножом», — пролепетал

я. «Вот именно ножом, специальным рыбным ножом, который лежит слева от Вас!» Поди знай! В другой раз на мой какой-то дурацкий вопрос А. А. тихо, но отчетливо сказал: «И вообще, И. С., — больше самостоятельности. Нужно руководствоваться принципом: человек за столом должен быть как можно дальше от собаки. Собака ест вот так, — А. А. низко нагнувшись над тарелкой и стал к удивлению окружающих быстро елозить руками. — А человек вот так», — он откинулся на спинку стула, держа нож и вилку в почти вытянутых руках. После такого объяснения я к А. А. больше за консультацией не обращался.

Через несколько недель, когда мы уже плыли в Аргентину, я взял у А. А. реванш. Как-то в кают-компании за послеобеденным трепом я решил продемонстрировать свою эрудицию, процитировав по памяти прелестный афоризм Анатоля Франса (на самом деле довольно злую шутку в адрес стариков, которую Михайлов мог принять на свой счет. — Н. К., Л. М.). Присутствовавший при этом А. А. даже бровью не повел — все-таки старое воспитание, но навсегда сохранил ко мне настороженно-холодное отношение...»

Предельно точно сказал об этом Я. Б. Зельдович... «...из песни слова не выкинешь, и мы подходим к трудному месту. Сама личность Шкловского поляризовала окружающих. Наряду с верными друзьями, учениками, последователями у него были враги. Он мог больно задеть и людей, вполне расположенных к нему. Эта фраза «он Человеком был» включает в себя и подтекст — ничто человеческое не было ему чуждо. Смерть подводит итог, отсеивая все преходящее...»

Да, он мог задеть «пушкинской эпиграммой», мог обидеть маститого коллегу недвусмысленным обвинением в невежестве, мог отстаивать свою научную и этическую позицию, невзирая на лица. И все-таки, пусть не покажется это парадоксальным, едва ли не основной чертой его характера была доброта.

Среди его учеников 2 члена-корреспондента АН СССР, 10 докторов и около 30 кандидатов наук — и ведь каждому или почти каждому из них Шкловский помогал. Не менее десяти ныне ведущих советских астрофизиков обязаны ему тем, что вообще состоялись. Скольким молодым талантам, «не щадя живота своего», он «пробивал» (и «пробил!») московскую прописку, квартиру. У него всегда находилось время для начинающей молодежи, студентов и даже школьников.

В связи с «проблемой добра» стоит выслушать самого Шкловского:

«Каждый раз, когда я из дома еду в издательство «Наука», точнее в астрономическую



Х. ван де Хюлст, И. С. Шкловский, С. Б. Пикельнер на X Ассамблее Международного астрономического союза. Москва, 1958 г. 13—20 августа.

«Только в январе 1981 г. я получил английский перевод статьи Х. ван де Хюлста, опубликованной на голландском языке в декабре 1945 г. В ней излагался доклад, зачитанный ван де Хюлстом в июне 1944 г. Идея о линии 21 см занимает чуть больше одной страницы (для интенсивности этой линии пишется обычное простое выражение — в предположении, что межзвездная среда прозрачна). «Пока не выполнены точные вычисления, существование этой линии остается спекулятивным», — заключает эту часть своей статьи голландский студент». [Шкловский И. С. Из истории развития радиовселенной в СССР. М., 1982. Сер. «Космонавтика, астрономия». № 11. С. 18.]

редакцию этого издательства, и водитель троллейбуса № 33 объявляет (не всегда, правда): «Улица академика Петровского», — остановка, на которой я должен выходить, — неизменно мне делается грустно. Я очень многим обязан человеку, чьим именем назван бывший Выставочный переулок. Он восстановил меня на работу в Московском университете, когда меня в 1952 году вместе с несколькими моими несчастными коллегами выгнали из Астрономического института им. Штернберга. Двумя годами позже он своей властью прямо из ректорского фонда дал мне неслыханно роскошную трехкомнатную квартиру в 14-этажном доме МГУ, что на Ломоносовском проспекте. До этого я с семьей 19 лет ютился в одной комнате останкинского барака... Мне удалось создать весьма жизнеспособный отдел и укомплектовать его талантливой молодежью исключительно благодаря

самоотверженной помощи Ивана Георгиевича... Моим бездомным молодым сотрудникам он предоставлял жилье. И потом, когда началась космическая эра, сколько раз он помогал нам! У него было абсолютное чутье (как у музыкантов бывает абсолютный слух) на настоящую науку, даже если она находилась в эмбриональном состоянии.

22 года Иван Георгиевич руководил самым крупным университетом страны. У него ничего не было более близкого, чем университет, бывший ему родным домом и семьей. Ради университета он забросил даже любимую математику...

Его судьба была глубоко трагична. Это ведь древний сюжет — хороший человек на трудном месте в тяжелые времена! Надо понять, как ему было тяжело. Я был свидетелем многих десятков добрых дел, сделанных этим замечательным человеком. Отсюда, будучи хорошо знакомым со статистикой, я с полной ответственностью могу утверждать, что количество добрых дел, сделанных им за все время пребывания на посту ректора, должно быть порядка 10^4 ! Много ли у нас найдется людей с таким жизненным итогом? Некогда модный поэт написал такие «гуманные» строчки: «добро должно быть с кулаками». Это ложь! Добро должно быть прежде всего конкретно. Нет ничего хуже «безветтной», абстрактной доброты. Эту простую истину следовало бы усвоить нашим «радикалам». И было бы справедливо, если бы на надгробии Ивана Георгиевича, что на Новодевичьем, была высечена простая надпись: «Здесь покоится человек, совершивший 10 000 добрых поступков».

МЕХАНИКА АРИСТОТЕЛЯ

Шкловский был не только родоначальником новых теоретических направлений в науке, но и человеком, организовавшим глобальные экспериментальные исследования в этих новых областях астрофизики.

«...Начиная с 1953 г. я по кусочкам из талантливой молодежи, остро ощущавшей происходящую в нашей астрономической науке революцию, формировал отдел, условно называемый отделом радиоастрономии, хотя мы не ограничивались только радиоастрономией (фактически это был отдел всеволновой астрофизики.— Н. К., Л. М.). Это было дьявольски трудно...»

Новому и прогрессивному всегда нелегко пробивать себе дорогу, а ведь началась космическая эра в истории человечества — вскоре был запущен первый спутник, астрофизика становилась всеволновой, но вот жить становилось все труднее.

«...Вообще, по всем делам, большим и малым, касающимся моего отдела и его сотрудников, я обращался непосредственно к ректору, что, конечно, нельзя было считать нормальным. Но что прикажете делать? В конце концов, в 1968—1969 годах основная, творчески наиболее активная часть отдела радиоастрономии ГАИШ (и я в том числе) покинула стены *alma mater* и перешла во вновь организованный Институт космических исследований Академии наук СССР, где получила более или менее нормальные условия существования».

Не следует думать, юднако, что дальнейший путь Иосифа Самуиловича, остро переживавшего с каждым из своих учеников и сотрудников их проблемы, как свои собственные, был усыпан розами. Отнюдь нет. Однако, как выяснилось, на этом пути его ждало открытие.

Извечная тайна движения. Должны были пройти тысячелетия для того, чтобы Галилей постиг его сущность. Позднее Ньютон сформулировал первый закон механики, по которому «всякое тело совершает равномерное и прямолинейное движение до тех пор, пока внешние силы не выведут его из этого состояния». Тем не менее Шкловский считал, что истинный смысл тайны движения удалось установить лишь ему.

«Суть дела упирается в вековечную тайну движения. Великий Аристотель, как известно, считал, что движение (конечно, равномерное и прямолинейное) может происходить только потому, что на движущееся тело непрерывно действует некоторая сила. Перестанет сила действовать — и рано или поздно тело остановится! Великий Галилей, а после него — не менее великий Ньютон пришли к радикальному выводу, что равномерное и прямолинейное движе-

ние любого тела для своего поддержания не требует никакой силы! Это — знаменитый закон инерции, который без должного понимания зубрят многие миллионы школяров на всех континентах».

Как считал Иосиф Самуилович, суть его открытия в том, что вся наша деятельность, к сожалению, происходит в соответствии с законами механики Аристотеля, а не Ньютона и Галилея: попробуйте-ка пустить на самотек организацию какого-либо эксперимента — увидите, что из этого получится.

«В самом деле, хорошим примером формального действия механики Аристотеля является движение какого-нибудь тела в вязкой среде. Чтобы тело (дело) двинулось, его непрерывно надо толкать — вот суть механики Аристотеля!»

ЛЮДИ, АУ!

Для широкого круга людей во всем мире профессор И. С. Шкловский — прежде всего автор знаменитой книги «Вселенная, жизнь, разум». Впервые она вышла на русском языке в 1962 г., с тех пор выдержала пять изданий, сейчас готовится шестое (посмертное). Эта книга была переведена на многие языки, интерес к ней никогда не падал, так как для каждого нового поколения она является все таким же откровением, как и для первых ее читателей.

«Я особенно горжусь, что книга вышла в издании для слепых — шрифтом Брайля! Четыре толстых тома, сделанные на бумаге, похожей на картон, производят странное впечатление».

«Вселенная, жизнь, разум» — это книга о Вселенной, возможности существования жизни в ней и, главное, о возможности существования в ней не просто жизни, но жизни разумной. Она была написана «на одном дыхании». Тогда, в 1962 г., в период «бури и натиска» казалось, что гигантские успехи всеволновой астрономии не могут не привести к обнаружению сигналов искусственного происхождения.

Этого не произошло. Космос молчал, и точка зрения Шкловского изменилась. Он пришел к выводу, что наша цивилизация существует, скорее всего, в единственном числе.

Мы не хотим здесь приводить все pro и contra в пользу той или иной точки зрения. В конце концов, статья не об этой старой, как мир, проблеме, а об Иосифе Самуиловиче.

По его мнению, «...в настоящее время, характеризуемое огромными успехами астрономии, утверждение

о нашем практическом космическом одиночестве значительно лучше обосновывается конкретными научными фактами, чем традиционное, ставшее уже догматическим ходячее мнение о множественности обитаемых миров...

...Возможность нашего практического антропоцентризма хотя бы в Местной системе галактик мне представляется неизмеримо богаче в философском, этическом и нравственном плане, чем традиционное «люди, ау!»⁵.

Все мы знаем, что наш мир может оказаться на грани катастрофы, и одна из главных причин этого — отсутствие взаимопонимания. Ну, а если мы еще одиноки во Вселенной, то...

В этой связи мы расскажем историю эпиграфов к книге Шкловского «Вселенная, жизнь, разум». Книга состоит из трех частей (27 глав). Первая — «Астрономический аспект проблемы»; вторая — «Жизнь во Вселенной»; третья — «Разумная жизнь во Вселенной». Каждая часть предваряется эпиграфом.

«К общеономической главе хороший эпиграф дал мне знакомый литературный критик Бен Сарнов («И страшным, страшным крепком / К другим каким-нибудь / Неведомым вселенным повернут Млечный Путь» — это из Пастернака). Сложнее получилось с эпиграфом к футурологической главе... Незадолго до этого я получил письмо от своего ныне покойного старого друга, товарища по Дальневосточному университету С. Д. Соловьева. Между прочим, в этом письме были такие строчки: «На днях перечитал новые стихи Асеева. К старости он стал писать лучше. Вот почитай слегка подправленные мною строфы:

А любопытно, черт возьми,
Что будет после нас с людьми?
Что станется потом?
Какие платья будут шить?
Кому в ладоши будут бить?
К каким планетам плыть?»

Но ведь это и есть тот самый эпиграф, который мне так нужен! И только в корректуре я вспомнил приписку Соловьева насчет «слегка подправленных строф». Значит, эти понравившиеся мне строчки — не подлинный Асеев? Может случиться скандал!... С большим трудом нашел книжку Асеева, где напечатаны эти строки. Худшие мои опасения оправдались: у Асеева после «Кому в ладоши будут бить?» стояло звукоподражание «тим-том, тим-том, тим-том!». А ведь весь смысл был для меня в соловьевской строчке «К каким планетам плыть?». Пришлось выбросить эту концовку и об-

рубить строки на «ладошках», в которые «будут бить» наши потомки. Но зато в следующих изданиях, уже после смерти Асеева, я концовку Соловьева восстановил... Да простят меня ревнители неприкосновенности поэтического замысла и священности авторского права».

Понятно, что это эпиграф к третьей части. Эпиграфом же ко второй части Шкловский взял стихи Н. С. Гумилева — широко известного в начале века поэта, главы русского акмеизма (мужа А. А. Ахматовой) — из цикла «К синей звезде»:

На далекой звезде Венере
Солнце пламенной и золотистой,
На Венере, ах, на Венере
У деревьев синие листья...

В последующих изданиях книги эпиграфы к первой и второй частям не менялись. Эпиграф же к третьей части в последнем (пятом) издании Иосиф Самуилович вообще заменил другим — вместо Н. Асеева появился И. Ильф: «Жить на такой планете — зря время терять!»

Закономерно, подумает читатель, — очень точное отражение изменившегося отношения Шкловского к проблеме внеземных цивилизаций. Да, конечно, но дело не только в этом. Не исключено, что выдержка из «Записных книжек» Ильфа появилась не только в связи с изменившейся авторской позицией по поводу внеземных цивилизаций, но и в связи с историей второго (венерианского) эпиграфа.

В феврале 1961 г. к Венере стартовала первая советская ракета. В связи с этим «Известия» напечатали статью Иосифа Самуиловича, посвященную Венере и столь знаменательному событию. Статья начиналась с этих давно забытых стихов.

«Я был чрезвычайно горд своим поступком и, расширяемый высокими чувствами, послал Анне Андреевне Ахматовой вырезку из «Известий», сопроводив ее небольшим почтительным письмом. Специально для этого я узнал адрес ее московских друзей, у которых она всегда останавливалась, когда бывала в столице. Долго ждал ответа — ведь должна же была она обрадоваться такому из ряда вон выходящему событию! Прошли недели, месяцы. Я точно установил, что Ахматова была в Москве. Увы, ответа я так никогда от нее не дождался, хотя с достоверностью узнал, что письмо мое она получила».

Действительно, «жить на такой планете — зря время терять», если даже одинаково чувствующие свое время люди, люди одного мироощущения, одного духовного движения не слишком хорошо понимают друг друга.

⁵ Шкловский И. С. Отвечаю Лему (О критических замечаниях Ст. Лема по поводу моей статьи «Возможная уникальность разумной жизни во Вселенной») // Знание — сила. 1977. № 7. С. 41—42.

Впрочем, кто знает?

«Причину молчания Анны Андреевны я узнал только через много лет. Оказывается, цикл стихов «К синей звезде» Гумилев посвятил другой женщине! Это просто поразительно — до конца своих дней она оставалась женщиной и никогда не была старухой!»

«БОГ НА СТОРОНЕ БОЛЬШИХ БАТАЛЬОНОВ?»

«Откуда же мне было тогда знать, что весна и первая половина лета далекого 1947 года будут самыми яркими и, пожалуй, самыми счастливыми в моей сложной, теперь уже приближающейся к финишу, жизни. В ту третью послевоенную весну, до края наполненный здоровьем, молодостью и непоколебимой верой в бесконечное и радостное будущее, я считал само собой разумеющимся, что предстоящая экспедиция к тропику Козерога — в далекую, сказочно прекрасную Бразилию — это только начало. Что будет еще очень, очень много хорошего, волнующего душу, пока неизвестного. После убогой довоенной юности, после тяжких мучений военных лет передо мной вдруг наконец-то открылся мир — таким, каким он казался в детстве, когда я в своем маленьком родном Глухове замирал в ожидании очередного номера выпущенного мне волшебного журнала «Всемирный следопыт» с его многочисленными приложениями. То были журналы «Вокруг света», «Всемирный турист» и книги полного собрания сочинений Джека Лондона в, полосато-коричневых бумажных обложках. Читая запоем «Маракотову бездну» Конан-Дойля или, скажем «Путешествие на Снарке» Лондона, я был за тысячи миль от родной Черниговщины. Соленые брызги моря, свист ветра в корабельных снастях, прокаленные тропическим солнцем отважные люди — вот чем я тогда грезил. Вообще, у меня осталось ощущение от детства как от парада удивительно ярких и сочных красок. На всю жизнь врезалось воспоминание об одном летнем утре. Проснувшись, я долго смотрел в окно, где на ярчайшее синее небо проектировались сочные, зеленые листья старой груши. Меня пронзила мысль о радикальном отличии синего и зеленого цвета. А ведь я в своих тогдашних художнических занятиях по причине отсутствия хорошей зеленой краски (нищета!) смешивал синюю и желтую. Что же я делаю? Ведь синий и зеленый цвета — это цвета моря и равнины...

А потом пришла суровая и бедная юность. Муза дальних странствий ушла куда-то в область подсознания. Живя в далеком Владивостоке и случайно бросив взгляд на карту Родины, я неизменно ежился: «Куда же это меня занесло!» А в войну карты фронтов уже вызывали совершенно другие эмоции — вначале страшные, а потом вселяли надежду.

Война закончилась. ...Я жадно увлекся наукой. Мне очень повезло, что начало моей на-

учной карьеры почти точно совпало с наступлением эпохи «бури и натиска» в науке о небе. Пришла «вторая революция» в астрономии, и я это понял всем своим существом. Вот где мне помогли детские мечты о дальних странах! Довольно часто я чувствовал себя таким Пигафетой и Орельяной, прокладывающим путь в неизвестной, таинственно-прекрасной стране. Глубоко убежден, что без детских грез за чтением «Всемирного следопыта», Лондона и Стивенсона я никогда не сделал бы в науке того, что сделал.

В этой самой науке я был странной смесью художника и конкистадора. Подобные феномены появляются только в эпохи ломки привычных, устоявшихся представлений и замены их новыми. Уже сейчас такой стиль работы невозможен. Наполеоновское правило «Бог на стороне больших батальонов» — в наши дни действует неукоснительно».

ПРИНЦИП ПАУЛИ

Среди фундаментальных запретов физики имеется и принцип Паули, о котором не упомянул Шкловский в беседе с Антониони (см. «Сумму запретов»). Суть его в том, что в атоме водорода, например, спин электрона может быть направлен либо в одну, либо в другую сторону⁶.

«Или-или», — шутят в Одессе. Феномен Шкловского не может быть понят до конца без принципа Паули.

«Бросьте Вы, Иосиф Самуилович, из-за пустяков себе нервы портить! Берегите здоровье!» — сказал не на шутку разволновавшемуся Шкловскому сотрудник, навещавший его в больнице.

«Я могу находиться только в двух состояниях», — ответил Иосиф Самуилович, — или живым, каким вы меня знаете, или не живым. Другим я не бываю».

Он умер 3 марта 1985 г. от инсульта.

⁶ Разумеется, в общем виде принцип Паули формулируется несколько иначе.

Изменяется ли гравитационная постоянная?

В. К. Милюков



Вадим Константинович Милюков, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. Область научных интересов — гравиметрия и гравитационные эксперименты. Соавтор монографии: *The Constant of Gravitation*. Budapest, 1979.

В 1687 г. увидел свет фундаментальный труд И. Ньютона «Математические начала натуральной философии», в котором был сформулирован известный теперь всем школьникам закон тяготения: сила притяжения F между двумя материальными частицами прямо пропорциональна их массам m_1 и m_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Коэффициент пропорциональности G необходим для согласования размерностей обеих частей равенства; он получил название гравитационной постоянной. С помощью маятников, выполненных из различных материалов, И. Ньютон с достаточно высокой для своего времени точностью показал, что G есть величина постоянная, и, следовательно, открытый им закон тяготения универсален.

Более чем через двести лет А. Эйнштейн создал релятивистское обобщение теории Ньютона — общую теорию относительности (ОТО), получившую впоследствии блестящие экспериментальные подтверждения. В качестве фундаментальной константы она также содержит постоянную тяготения G .

И тем не менее исследователи до сих пор ищут ответ на вопрос: действительно ли гравитационная постоянная постоянна и тем самым может быть отнесена к числу фундаментальных констант физики? Коль скоро такой вопрос всерьез ставится, попытаемся представить себе, от чего вообще может зависеть G . Здесь очевидны три возможности.

Во-первых, G может быть разной для тел различной природы. В этом случае, например, алюминиевый шар должен взаимодействовать с гравитационным полем Земли слегка по-другому, нежели железный. В результате, ускорения свободного падения алюминиевого и железного шаров могут чуть-чуть различаться — нарушится знаменитый принцип эквивалентности Эйнштейна.

Во-вторых, можно представить себе, что G зависит от расстояния между гравитирующими телами. Это означает, что нарушается закон обратных квадратов, аналогичный закону Кулона в электростатике. Мы знаем, что закон Кулона действительно может нарушаться на малых расстояниях вследствие проявления квантово-полевых свойств вакуума. Поэтому обнаружение отклонений от закона Ньютона, по аналогии, может свидетельствовать в пользу того, что

гравитация тоже имеет квантово-полевую природу.

И наконец, третья возможность — зависимость G от времени. Такая зависимость, как и обе предыдущие, должна быть очень слабой — в противном случае она давно была бы замечена наблюдателями. В первую очередь она должна проявиться в явлениях, происходящих в течение больших промежутков времени. Поэтому обнаружение зависимости G от времени привело бы, прежде всего, к пересмотру наших космологических предположений.

Цель настоящей статьи — рассказать подробнее об этих теоретических возможностях и их экспериментальной проверке.

ПРИНЦИП ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ И ЕГО ПРОВЕРКА

Напомним читателю, что под массой тела в законе тяготения Ньютон подразумевал ту же физическую величину, которая входит во второй закон механики $F=ma$. Обратим внимание на то, что роль массы в этом законе и законе тяготения совершенно различна. В первом случае это не что иное, как мера инертности тела ($m_{ин}$), во втором — источник гравитационного взаимодействия ($m_{гр}$), своеобразный гравитационный «заряд». Вообще говоря, ниоткуда не следует, что они эквивалентны.

Пусть $m_{гр}/m_{ин}=\gamma$. Тогда ускорение тела с инертной массой $m_{ин}$ в гравитационном поле тела массы $M_{гр}$ равно

$$a = G\gamma M_{гр}/r^2.$$

Ньютон постулировал, что для всех тел $\gamma = \text{const}$ (при соответствующем выборе единиц ее всегда можно сделать равной 1). Тогда ускорение тела в гравитационном поле не зависит от его массы, и G является универсальной константой для тел любой природы. Этот фундаментальный факт впоследствии был назван принципом эквивалентности и лег в основу эйнштейновской теории гравитации.

Напротив, зависимость отношения γ от природы взаимодействующих тел эффективно проявилась бы как соответствующее изменение постоянной тяготения G .

На необходимость проверки постоянства отношения γ обращал внимание еще Ньютон. Он же поставил первые опыты для тел, выполненных из различных материалов.

В нашем столетии проверку принципа эквивалентности провели сначала Р. Этвеш в Будапештском университете, а затем в

Принстонском университете Р. Дикке, П. Роль, Р. Кротков и в Московском государственном университете В. Б. Брагинский и В. И. Панов.

Р. Этвеш с помощью крутильных весов сравнивал инерционное ускорение, вызванное суточным движением Земли, с гравитационным ускорением, обусловленным ее массой, и с высокой точностью ($5 \cdot 10^{-9}$) установил, что значения γ одинаковы для широкого класса веществ.

В опытах, выполненных в Принстонском университете, а затем в МГУ, измерялось относительное ускорение пар различных объектов в гравитационном поле Солнца (в опытах Р. Дикке это были объекты из золота и алюминия, а в опытах В. Б. Брагинского и В. И. Панова — из платины и алюминия). Исследователям из МГУ удалось достичь наибольшей точности в измерении коэффициентов γ — ими было установлено, что для выбранных веществ эти коэффициенты отличаются не более чем на 10^{-12} .

Чтобы прояснить физическую сущность поставленных экспериментов, Р. Дикке предложил рассматривать два принципа эквивалентности — сильный и слабый.

Слабым принципом эквивалентности он назвал утверждение, что все материальные тела движутся по одинаковым путям в пространстве и времени, если на них действует лишь гравитационное поле. Очевидно, что результаты опытов Этвеша — Дикке — Брагинского подтверждают этот факт с высокой точностью.

Таким образом, слабый принцип эквивалентности касается законов механики.

Сильный принцип эквивалентности констатирует нечто большее. Он утверждает: все законы физики в малой области пространства-времени всюду одинаковы. Например, гравитационное поле, создаваемое любыми физическими объектами, определяется только их энергией (массой). В частности, электромагнитное и прочие фундаментальные поля являются источниками гравитационного поля, которое зависит от их энергии (массы), но не от их физической природы. Соответственно, все эти поля одинаковым образом подвержены действию гравитации. Поясним это более подробно. Известно, что в инертную массу атома дают вклад по крайней мере следующие составляющие: массы покоя электронов, протонов и нейтронов; их кинетическая и потенциальная энергии; электростатическая энергия ядра. Появление каждой из этих энергетических составляющих обязано одному из четырех видов взаимо-

действий: сильному, слабому, электромагнитному и гравитационному. Если для атомов различных веществ эти составляющие инертной массы будут участвовать в гравитационном взаимодействии по-разному, то появится аномальное гравитационное ускорение, действующее на крутильные весы. Таким образом, лабораторные эксперименты Этвеша — Дикке — Брагинского, демонстрирующие отсутствие такого ускорения, доказывают и сильный принцип эквивалентности. Однако это доказательство носит ограниченный характер. Дело в том,

что вклады энергий, соответствующих сильному, электромагнитному, слабому и гравитационному взаимодействиям в полную энергию тела (т. е. его инертную массу), относятся как $1:10^{-2}:10^{-12}:10^{-40}$ на один атом вещества. Поэтому из лабораторных опытов следует, что только сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия дают равный вклад в инертную и гравитационную массы пробных тел. Причем вряд ли возможен лабораторный эксперимент по проверке принципа эквивалентности на уровне гравитационного взаимо-

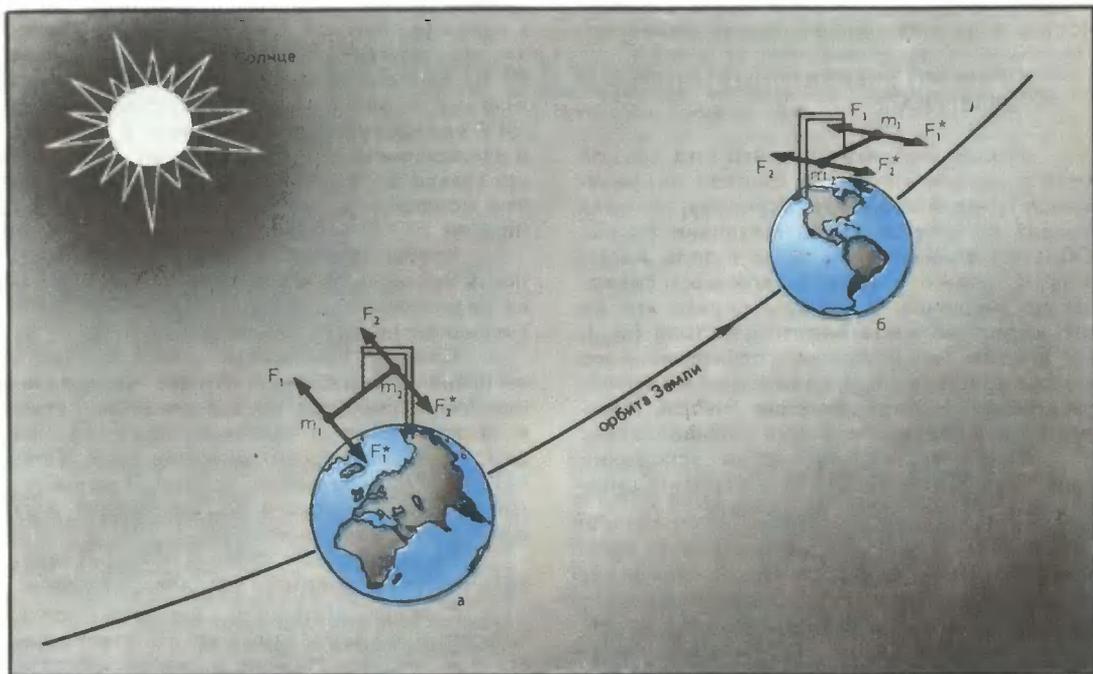


Схема опытов на проверку принципа эквивалентности, выполненных в Принстонском университете и МГУ. Измерялось относительное ускорение пар различных объектов в гравитационном поле Солнца. На пробные массы m_1 и m_2 , подвешенные на крутильных весах, действуют две силы: гравитационная F (вызванная притяжением Солнца) и центробежная F^* (обусловленная орбитальным вращением Земли). Эти силы взаимно уравновешивают друг друга. Если значения $\gamma = m_{гр}/m_{ин}$ для пробных тел различны, то одно из них будет падать в сторону Солнца немного быстрее и крутильные весы повернутся на некоторый угол (положение а на рисунке). Через 12 ч из-за вращения Земли вокруг своей оси тела поменяются местами (положение б), и предполагаемая разница в ускорениях повернет крутильные весы на тот же угол, что и в положении а, но в противоположную сторону. В результате, если принцип эквивалентности нарушается, то в такой системе должны происходить крутильные колебания с периодом 24 ч.

действия, так как для тела массой примерно 1 г соотношение энергий равно $1:10^{-2}:10^{-12}:10^{-29}$.

Иное дело планеты Солнечной системы. Доля внутренней гравитационной энергии в полной энергии растет с увеличением массы и, например, для Земли составляет уже довольно значительную величину — $5 \cdot 10^{-10}$. Если гравитационная энергия Земли не подвержена тяготению (т. е. нарушен сильный принцип эквивалентности), то на Луну должна действовать аномальная сила, направленная по линии Солнце — Земля, что приведет к аномальным изменениям лунной орбиты, которые, в принципе, могут быть измерены (эффект Нордтведта). Оценки показывают, что изменение

радиуса орбиты Луны вследствие эффекта Нордтведта может достигать огромной величины — 10 м.

Анализируя данные по лазерной локации поверхности Луны, ученые США установили, что коэффициенты γ для Земли и Луны одинаковы с точностью до величины порядка 10^{-11} . Это означает, что собственная гравитационная энергия Земли с точностью 2 % дает равный вклад как в инертную, так и в гравитационную массу.

Результаты описанных лабораторных экспериментов и данные по лазерной локации Луны подтверждают уверенность в сильном принципе эквивалентности и независимости гравитационной постоянной G от природы взаимодействующих тел.

ПРОВЕРКА НЬЮТОНОВСКОГО ЗАКОНА ТЯГОТЕНИЯ

Первые сомнения в неизбежности ньютоновского закона тяготения возникли в конце прошлого века, когда французский астроном Ж. Лаверье обнаружил опережение движения перигелия Меркурия на $43''$ в столетие по сравнению с теоретическими расчетами. Последовала серия попыток объяснить такую неувязку наблюдений с теорией — сначала в рамках ньютоновского закона тяготения. Среди них были и предположения о кольце малых планет внутри меркурианской орбиты, о несферичности Солнца и т. п. Дело дошло до ревизии самого закона тяготения Ньютона — в него были введены малые поправки, зависящие от расстояния между гравитирующими телами. Наиболее просто смещение перигелия Меркурия объяснялось в предположении, что сила тяготения пропорциональна не r^{-2} , а $r^{-(2+\beta)}$, где $\beta = 1,6 \cdot 10^{-7}$. На самом деле того же эффекта можно добиться, сохранив форму записи закона тяготения, но предположив, что гравитационная постоянная меняется с расстоянием по закону $G(r) = Gr^{-\beta}$. Тем самым мы пришли бы к идее изменения гравитационной постоянной в пространстве. Однако, если при указанном значении β наблюдения хорошо совпадали с теорией для Меркурия, то для других планет возникали разногласия с опытом.

Только общая теория относительности смогла объяснить всю совокупность наблюдательных данных. Наличие в уравнениях движения ОТО членов, пропорциональных GM/rc^2 (M — масса Солнца, c — скорость света), учитывает релятивистское воздействие гравитации на орбиту планеты и приводит к смещению ее перигелия.

Меркурий — ближайшая к Солнцу планета, и на его орбите сильнее всего должны сказываться релятивистские поправки. Величина GM/rc^2 для Меркурия равна $2,5 \cdot 10^{-8}$. Поэтому, описывая движение Меркурия с точностью, меньшей чем 10^{-8} , мы можем оставаться в рамках ньютоновской механики. При большей точности вычислений мы должны учитывать релятивистские поправки.

Идея о том, что гравитационная постоянная G может зависеть от расстояния между взаимодействующими телами, возникла вновь в последнее десятилетие в связи с попытками создания единой теории поля, объединяющей на квантовом уровне все виды взаимодействий, включая и гравитационное.

Согласно квантовой теории поля, любое взаимодействие происходит за счет обмена виртуальными промежуточными частицами. В случае электромагнитных сил — это хорошо известный фотон; слабые взаимодействия осуществляются посредством обмена тремя частицами: W^{\pm} , Z^0 -бозонами, открытыми недавно в ЦЕРНе (Женева). Полагают, что переносчиком гравитационного взаимодействия служит гравитон — частица пока еще гипотетическая. Радиус действия сил r_0 определяется массой m_0 частицы-переносчика: $r_0 = \hbar/m_0c$. Электромагнитные и гравитационные силы дальнедействующие; соответственно гравитон, так же как и фотон, должен быть безмассовой частицей. Однако между фотоном и гравитоном есть и важное различие: фотон имеет спин, равный 1, а спин гравитона должен быть равен 2. Это приводит к тому, что одноименные электрические заряды отталкиваются, а разноименные — притягиваются, в то время как для всех объектов гравитация является силой притяжения.

Популярные в последнее время теории супергравитации¹, на основе которых предпринимаются попытки построить объединенные теории всех фундаментальных взаимодействий, предсказывают существование многих гипотетических частиц. Их участие в гравитационных взаимодействиях приводит к новым явлениям — например, к нарушению принципа эквивалентности и отклонению гравитационного потенциала от ньютоновского. Скажем,

¹ См. подробнее: Березинский В. С. Объединенные калибровочные теории и нестабильный протон // Природа. 1984. № 11. С. 24—38.

в некоторых теориях супергравитации присутствует гравифотон — гипотетическая частица со спином 1. Обмен гравифотоном обуславливает новое промежуточное взаимодействие, в котором две частицы отталкиваются, а частица и античастица — притягиваются. Иначе говоря, в таких теориях возможна антигравитация. Не исключено также, что помимо гравитона силы тяготения переносятся еще и какой-то массивной виртуальной частицей. Тогда, как мы уже обсуждали выше, данное взаимодействие будет проявляться лишь в ограниченной области пространства с конечным радиусом g , определяемым массой частицы-переносчика. Если сила этого нового взаимодействия по отношению к «старому» гравитационному характеризуется безразмерной константой α , то в статическом пределе гравитационный потенциал, кроме обычной ньютоновской части, будет иметь еще и экспоненциальную составляющую, которая приведет к зависимости гравитационной постоянной G от расстояния между взаимодействующими массами:

$$G(r) = G_{\infty} [1 + \alpha(1 + r/r_0)e^{-r/r_0}],$$

где G_{∞} — гравитационная постоянная на расстояниях $r \gg r_0$.

Естественно возникает вопрос, как новые теории согласуются с экспериментом? Прямая проверка супергравитации заключалась бы в поиске калибровочных бозонов, масса которых превышает 10^{14} ГэВ. Искать такие частицы на ускорителях — пока нереальная задача, поэтому микроскопические гравитационные эксперименты (например, эксперимент типа Кавендиша по определению гравитационной постоянной) могут служить проверкой следствий теории супергравитации в статическом пределе.

Существует и другой теоретический подход, приводящий к функциональной зависимости $G(r)$. В квантовой электродинамике известен так называемый эффект поляризации вакуума, из-за которого на малых расстояниях $r \ll \hbar/m_e c$ (m_e — масса электрона) в законе Кулона возникает добавочный логарифмический член. Американский физик Д. Лонг предположил, что аналогичный механизм поляризации вакуума действует и в гравитации: вблизи некоторого локализованного источника массы изменяется плотность «массы вакуума», и это приводит к искажению ньютоновской силы гравитационного взаимодействия. По мнению Лонга, это искажение на обычных лабораторных расстояниях может быть

описано эффективной гравитационной константой

$$G(r) = G_0 [1 + \lambda \ln(r/r_1 \text{ см})],$$

где G_0 — гравитационная постоянная на очень малых расстояниях, λ — некоторый постоянный коэффициент (коэффициент Лонга).

В 1974 г. Д. Лонг проанализировал результаты всех лабораторных экспериментов по определению абсолютного значения гравитационной постоянной, которые были сделаны с 1894 по 1969 г., и пришел к выводу, что точности этих экспериментов недостаточно для исключения или подтверждения возможности зависимости G от расстояния. Для решения этого вопроса, по мнению Д. Лонга, нужны были специальные эксперименты.

Вскоре, в 1976 г., он сам осуществил такой эксперимент.

С помощью крутильных весов Д. Лонг определял момент силы притяжения между пробной танталовой массой, подвешенной на одном плече коромысла весов, и притягивающей массой, выполненной в виде цилиндрического кольца (поле на оси кольца более равномерно, чем у шара или цилиндра). Измерения проводились с двумя притягивающими массами, которые поочередно помещались на разных расстояниях от пробного тела (малое кольцо на расстоянии 4,5 см, большое — на 30 см).

Оценив возможные погрешности как в теоретических расчетах, так и в самом эксперименте, Д. Лонг получил, что коэффициент λ в предложенной им эмпирической формуле равен $(200 \pm 40) \cdot 10^{-5}$. Так появилось сообщение об экспериментальном обнаружении зависимости гравитационной постоянной G от расстояния между взаимодействующими массами.

Эти работы вызвали живой интерес и стимулировали постановку целой серии новых экспериментов по проверке ньютоновского закона тяготения. Была также сделана астрономическая оценка возможных пространственных вариаций G .

В ряде из них так же, как и у Д. Лонга, в качестве рабочего инструмента использовались традиционные крутильные весы. Это эксперименты В. И. Панова и В. Н. Фронтава, выполненные на физическом факультете МГУ, Р. Сперо и М. Ньюмана — в Калифорнийском университете, А. Кука, И. Чена и А. Мезерелла — в Кавендишской лаборатории Кембриджа, эксперименты, поставленные в ГАИШе МГУ, Институте высоких энергий АН КНР.

В других опытах применялись высокоточные гравиметры — приборы, измеряющие ускорение силы тяжести². К сожалению, точность таких экспериментов существенно ниже экспериментов с крутильными весами.

Среди использованных методик были и новые, оригинальные. Например, в опыте Х. Хиракавы и др. (Япония), в отличие от предыдущих экспериментов, где измерялось статическое гравитационное взаимодействие, исследовалось переменное гравитационное поле, созданное вращающимся металлическим стержнем массой 44 кг.

При той точности, которой удалось достичь в большинстве экспериментов (за исключением экспериментов, выполненных в Калифорнийском университете, ГАИШе и Кавендишской лаборатории), оказалось невозможным обнаружить величину наблюдаемого Д. Лонгом эффекта ($\lambda = 200 \cdot 10^{-5}$). Однако результат группы Р. Сперо встретил серьезные возражения Д. Лонга. Дело в том, что эксперимент Р. Сперо относится к разряду так называемых нулевых экспериментов, в которых в качестве притягивающей массы используются либо полые сферы, либо полые длинные цилиндры. Внутри таких тел гравитационное поле равно нулю. Поэтому пробное тело, находящееся внутри такой притягивающей массы, не обнаружит предполагаемый Д. Лонгом эффект поляризации гравитационного вакуума

В этой связи заслуживают внимания результаты экспериментов, выполненных в ГАИШе и Кавендишской лаборатории, — они не являются нулевыми и, в принципе, позволяют обнаружить искомый эффект. Оценка этих данных показывает, что с точностью, превосходящей в несколько раз точность эксперимента Д. Лонга, зависимость $G(r)$ в диапазоне лабораторных расстояний отсутствует.

Экспериментальные данные, полученные в опытах по проверке ньютоновского закона тяготения, могут быть использованы для оценки параметров новых частиц, присутствующих в теориях супергравитации и ответственных за гравитационное взаимодействие.

Скалярный бозон Бранса — Дикке — промежуточная частица, имеющая место в одной из моделей супергравитации, в статическом пределе взаимодействует с любой частицей подобно гравитону — с силой, пропорциональной массе этой частицы. Поэтому ожидаемое значение константы связи α должно быть порядка 1. Совокупность экспериментальных данных исключает это значение для интервала расстояний от 0,15 см до 50 м. Принимая во внимание некоторые астрофизические оценки, видимо, можно утверждать, что значения $\alpha \sim 1$ нельзя исключить только для расстояний $r_0 \leq 0,15$ см, что соответствует массе скалярного бозона $m_0 \geq 10^{-3}$ эВ.

В некоторых других моделях супергравитации сила, обусловленная обменом гравифотоном и приводящая к антигравитации, в статическом пределе пропорциональна массам взаимодействующих частиц, если они могут иметь различные зарядо-

² О гравиметрах см.: Грушинский Н. П. Гравиметрия — наука о силе тяжести // Природа. 1985. № 10. С. 62—73.

Результаты проверки ньютоновского закона тяготения*

| Авторы | Диапазон расстояний, см | $(\lambda \pm \Delta\lambda) \cdot 10^5$ |
|--|-------------------------|--|
| Лонг Д. | 4,5—30 | 200 ± 40 |
| Панов В.И., Фронтов В.Н. | 40—300 | 150 ± 300 |
| | 40—1000 | -60 ± 400 |
| Хиракава Х. и др. | 220—420 | 0 ± 5300 |
| | 260—1070 | -210 ± 620 |
| Пайк Х., Чен И. и др. | 110—230 | -140 ± 210 |
| | 2—5 | 1 ± 7 |
| Сегитов М. У., Миллюков В. К., Монахов Е. А. и др. | 11—21 | 9 ± 10 |
| Кук А. и др. | 5—9 | -4 ± 5 |

* В таблице приведены результаты лучших экспериментов, выраженные для сравнения друг с другом в виде значения коэффициента Лонга λ .

вые состояния (кварки, лептоны), и равна нулю для истинно нейтральных частиц (фотоны, глюоны). При гравитационном взаимодействии сложных частиц, таких как нуклоны, гравифотон «видит» кварки и «не видит» глюоны. Константа связи α в данном случае пропорциональна величине $-(3m_q/m_p)$, где m_q — масса кварка, m_p — масса протона. Полагая $m_q \approx 10$ МэВ, $m_p \approx 1$ ГэВ, получим оценку $\alpha \approx -10^{-3}$. Описанный способ «соединения» гравифотона с материей, естественно, приводит к нарушению принципа эквивалентности.

Принцип эквивалентности, экспериментально проверенный с точностью порядка 10^{-12} , устанавливает верхний предел для области антигравитации $r_0 < 2,5$ м. Вместе с рассмотренными экспериментами по проверке закона тяготения это дает для r_0 возможные значения либо меньше 1 см (соответственно, масса гравифотона $m_0 > 10^{-4}$ эВ), либо в интервале от 20 см до 2,5 м (10^{-6} эВ $< m_0 < 10^{-5}$ эВ). Следует отметить, что если масса кварка несколько ниже указанной, то константа связи гравифотона по модулю будет меньше 10^{-4} , и приведенные значения r_0 уже не исключаются существующими лабораторными экспериментами.

КОСМОЛОГИЯ И ПЕРЕМЕННОСТЬ G

Гравитационная постоянная — величина размерная и принимает различные значения в зависимости от того, в какой системе единиц она вычислена. То же самое относится и к большинству других физических постоянных (скорость света, заряд и масса электрона и т. д.). Однако из них можно составить безразмерные величины, которые уже не будут меняться при переходе от одной системы единиц к другой. В качестве примера можно привести, например, знаменитую постоянную тонкой структуры $e^2/\hbar c \approx 1/137$, играющую огромную роль в физике ядерных взаимодействий, или отношение массы протона к массе электрона $m_p/m_e \approx 1840$.

П. Дирак обратил внимание еще на одну безразмерную постоянную $e^2/4\pi G m_e m_p$, которая по порядку величины равна 10^{18} . Получается она следующим образом. Возьмем атом водорода, состоящий из протона и электрона. Сила их электрического взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними: $F_{эл} = e^2/4\pi r^2$. То же самое относится и к гравитационному взаимодействию: $F_{гр} = G m_e m_p / r^2$. Если составить отношение электростатической силы к гравитационной,

то мы и получим выписанную безразмерную величину. П. Дирак высказал предположение, которое было названо гипотезой больших чисел, что такое большое число в природе не может быть случайным. Его нельзя разумно построить, например, из 4π и других известных чисел, которыми оперирует математика. П. Дирак связал это число с возрастом Вселенной — по последним оценкам он составляет примерно 18 млрд лет. Год — это весьма искусственная единица измерения времени. Если же воспользоваться атомными единицами времени и за единицу измерения взять интервал, за который свет проходит сквозь классический электрон, — $e^2/4\pi m_e c^3$, то для возраста Вселенной получим $t_s \approx 10^{40} \cdot e^2/m_e c^3$. Это большое число по порядку величины совпадает с предыдущим, на основании чего П. Дирак и предположил, что они действительно равны, т. е.

$$e^2/4\pi G m_e m_p \sim t_s.$$

В атомной системе единиц заряд электрона e , массы протона m_p и электрона m_e постоянны, а возраст Вселенной t_s растет, следовательно, должна изменяться гравитационная постоянная, причем по закону $G \sim t_s^{-1}$. Так П. Дирак пришел к идее об изменении G с космологическим временем. В соответствии с возрастом Вселенной за год это изменение должно составлять $5 \cdot 10^{-11}$.

Гипотеза больших чисел впервые была высказана П. Дираком еще в 1937 г., и он был привержен ей до конца жизни.

П. Дирак обратил внимание еще на одну очень большую безразмерную величину — полную массу Вселенной, выраженную в массах протона. Оценив эту величину как массу наблюдаемых звездных объектов и введя некоторую поправку на существование ненаблюдаемого вещества (межгалактического газа, черных дыр и т. д.), он получил $m_{полн}/m_p \approx 10^{79} - 10^{80}$. Согласно гипотезе больших чисел следует ожидать, что будет справедливо соотношение $m_{полн}/m_p \sim t_s^2$. Это означает, что во Вселенной должно рождаться вещество, причем рождаться непрерывно. Сам П. Дирак предположил два различных механизма этого явления: либо новое вещество непрерывно рождается во всем пространстве (аддитивное рождение), либо оно рождается рядом с уже существующим (мультипликативное рождение).

Известны и другие теории, приводящие к переменной во времени гравитационной постоянной, например скалярно-

тензорная теория гравитации Бранса — Дикке. В отличие от таких, по выражению П. Дирака, «примитивных теорий», модифицирующих ОТО, Дирак сохранил все достижения эйнштейновской теории. Для этого он использовал гипотезу Э. Милна о том, что существуют две, не совпадающие друг с другом шкалы времени, одна из которых гравитационная, другая — атомная. В этом случае уравнения теории Эйнштейна справедливы только для величин, которые выражены в единицах, отличных от атомных единиц, т. е. в гравитационной шкале. И тогда гравитационная константа в этой шкале остается постоянной.

Гипотеза Дирака о переменности G и непрерывном рождении вещества приводит к важным космологическим выводам. В атомных единицах $G_a \sim t_a^{-1}$. В предположении аддитивного рождения вещества масса Солнца, выраженная в массах протона (M_a), остается приблизительно постоянной величиной, следовательно $(GM)_a \sim t_a^{-1}$. Если имеет место мультипликативное рождение, $M_a \sim t_a^2$, т. е. $(GM)_a \sim t_a$.

Идея Дирака о неэквивалентности шкал атомных и гравитационных часов и переменности G была обобщена в теории, развитой В. Кануто. Он исходил из следующих рассуждений. В каждой теории, в том числе и в ОТО, фундаментальную единицу (например, единицу длины) получают в результате некоторой измерительной процедуры. Любой измерительный инструмент, будучи сам физической системой, должен подчиняться определенным физическим законам. Так, если в качестве эталона берется расстояние между небесными телами, мы будем иметь гравитационную (или эйнштейновскую) единицу длины. Если мы используем атомные инструменты, которые подчиняются законам квантовой электродинамики, мы получим атомную единицу длины. Ниоткуда не следует, что эти единицы должны быть кратны друг другу. Поэтому если $G = \text{const}$ в одной системе единиц, вовсе не обязательно, чтобы она была постоянна в другой.

Согласно В. Кануто, уравнения ОТО в форме Эйнштейна должны быть справедливы только в гравитационных единицах. Для получения уравнений движения в атомных единицах все размерные величины, входящие в уравнения Эйнштейна, должны быть соответствующим образом преобразованы. При таком подходе могут быть согласованы наблюдаемые подтверждения следствий ОТО, полученные в чисто гравитационных экспериментах, и эксперименты по определению изменения G в

атомных единицах. Конечно, подтверждение эти теории могут получить лишь в случае экспериментального обнаружения вариаций гравитационной постоянной.

КАК ИЩУТ ВАРИАЦИИ G

Переменность G имела бы важные астрофизические и геофизические следствия, неудивительно поэтому, что уже сделано много попыток оценить ее. Так, вариации G во времени пытались получить из анализа светимости звезд, в частности нашего Солнца, обилия легких элементов во Вселенной, данных о расширении Земли. Однако подобные оценки носят косвенный характер и приводят во многих случаях к противоречивым результатам. Остановимся лишь на наиболее точных и прямых поисках возможных изменений гравитационной постоянной.

Мы знаем, что движение некоторого небесного объекта в поле тяготения центрального тела (например, Солнца) определяется произведением GM . Поэтому изменения с помощью атомных эталонов времени параметров орбитального движения планет или спутников, таких как среднее движение $n = 2\pi/T$ (T — период обращения небесного тела по орбите) и радиус орбиты R , могут служить проверкой переменности произведения $(GM)_a$. Чтобы на основании этих наблюдательных данных можно было судить о возможных изменениях G , мы должны выбрать какую-то конкретную модель ее изменения.

Пока мы знаем два типа наблюдений, которые можно считать наиболее достоверными. В первом случае задача сводится к анализу разности вековых ускорений Луны, полученных в гравитационных и атомных единицах времени. Классические наблюдения ускорения среднего движения Луны n , которые используют гравитационные единицы времени, определяют изменения n , обусловленные эффектом приливного трения. В настоящее время, основываясь на всей истории наблюдений движения Луны, можно считать, что $n_{\text{прилив}} = (-28,8 \pm 1,5)$ угл. с/(столетие)².

Измерение параметров движения Луны в атомном времени ведутся всего 30 лет. По измеренному атомными часами интервалу времени между двумя покрытиями Луной одной и той же звезды удается определить период движения Луны и любые его возможные изменения. О параметрах ее движения можно судить и на основании результатов лазерной локации Луны.

Ж. ван Фландерн, сотрудник Вашингтонской военно-морской обсерватории, проанализировал более 8000 наблюдений времени лунных покрытий звезд в период между 1955 и 1980 гг., полученных в Японии и США, а также результаты лазерной локации Луны. В результате для векового ускорения Луны он получил величину $p_0 = (-23,2 \pm 1,2)$ угл. с/(столетие)². Вычисляя «чистую» вариацию ускорения, которая может быть объяснена изменением G , и интерпретируя этот результат в рамках соответствующей модели, Ж. ван Фландерн получил $\Delta G_0/G_0 = (3,2 \pm 1,1) \cdot 10^{-11}$ за год.

Можно ли рассматривать полученный Ж. ван Фландерном результат как доказательство изменения G ? Сам автор весьма осторожно относится к полученной им оценке. Он не исключает, что в ней могут содержаться неизвестные систематические ошибки. Объективность результата Ж. ван Фландерна может быть установлена только в сравнении с другими независимыми определениями вариаций G .

Вторая экспериментальная проверка возможных вариаций G заключалась в анализе целого комплекса наблюдательных данных и была сделана большой группой ученых из Калифорнийского технологического института и Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) США. В основу этой работы положены 1136 измерений расстояний между станцией дальней космической связи, расположенной на Земле, и спускаемым аппаратом «Викинг» на поверхности Марса. Наблюдения охватывают период с июня 1976 г. по июль 1982 г. Измерения расстояний были проделаны с очень высокой точностью (2 м), однако неопределенности, обусловленные задержкой времени при распространении радиосигналов в межпланетной плазме, а также в самой станции слежения и в орбитальном аппарате «Викинг», увеличивают ошибку измерений до 9 м.

Кроме данных «Викинга» были использованы результаты измерений расстояний до космического аппарата «Маринер-9», находящегося на орбите вокруг Марса (с 1971 по 1973 г.), а также радиолокационных измерений расстояний до поверхностей Меркурия и Венеры (с 1964 по 1977 г.), лазерных измерений расстояний до Луны (с 1969 по 1970 г.), оптических измерений положений Солнца и планет (с 1911 по 1979 г.). На основании такого обширного наблюдательного материала была построена модель Солнечной систе-

мы, которая учитывала движение не только планет, но и астероидов. Были рассмотрены варианты этой модели с изменяющимися G и M .

В результате решения этой задачи для Солнечной системы определялись: начальные значения элементов орбит Луны и планет; массы планет; массы трех астероидов, которые оказывают наибольшее влияние на орбиту Марса; средние плотности остальных астероидов; параметры $\Delta G_0/G_0$, $\Delta(GM)_0/(GM)_0$ и некоторые другие величины. Было получено, что $\Delta G_0/G_0 = (0,2 \pm 0,4) \cdot 10^{-11}$ за год, а $\Delta(GM)_0/(GM)_0 = (0,1 \pm 0,8) \cdot 10^{-11}$ за год. Таким образом, комплекс доступных астрономических наблюдений Солнечной системы дает ограничения вариаций величин G_0 и $(GM)_0$ более жесткие, чем предсказанное П. Дираком ($\Delta G/G \sim 5 \cdot 10^{-11}$ за год), и следовательно, подвергает сильному сомнению справедливость как теорий гравитации типа Бранса — Дикке, так и обоих вариантов теории П. Дирака.

✱

Подведем итоги. Гравитационная постоянная, введенная Ньютоном как коэффициент пропорциональности в законе всемирного тяготения, в современной науке приобрела фундаментальное значение. Она лежит в основе любой теории гравитации. Справедливость существующих теорий гравитации и космологических выводов, вытекающих из них, во многом зависит от того, сохраняет ли гравитационная постоянная свое постоянство в пространстве и времени и независимость от природы вещества. В настоящее время, основываясь на рассмотренных экспериментах, мы должны, по-видимому, ответить на этот вопрос утвердительно. Вместе с тем это не может служить доказательством полной справедливости какой-либо одной теории. Наши знания, подтвержденные экспериментом, естественно, носят ограниченный характер. Поэтому новые эксперименты по проверке постоянства гравитационной константы, поставленные на более высоком уровне, позволят глубже познать природу самого слабого физического взаимодействия — гравитационного.



Волконскоит

Кандидат геолого-минералогических наук А. Г. Грановский из Ростова-на-Дону пишет:

В статье «Минералогия живописи» (Природа, 1985, № 9) упоминают довольно редкий и малоизученный минерал волконскоит. К сожалению, сведения об этом минерале отсутствуют даже в фундаментальных минералогических изданиях. Нельзя ли выяснить у автора статьи В. Н. Голубова более подробные данные о минерале и при возможности их опубликовать?

Редкий минерал заинтересовал также геохимика В. Б. Лобанова из Киева и Л. Г. Мушегяна из Еревана. На их вопросы отвечает В. Н. Голубов.

А. Е. Ферсман говорил о волконскоите как о «любопытном минерале с классическими месторождениями мирового значения», указывая на загадочность его генезиса. Приоритет в определении минерала принадлежит офицеру русской армии (обер-гиттенфервальтеру) А. П. Волкову, описавшему его в 1830 г. Волконскоитом минерал назван в подарок князю П. М. Волконскому.

Более 150 лет прошло со времени открытия минерала, но до сих пор вопросы его распространения и происхождения остаются слабо выясненными. Волконскоит — весьма редкое минеральное образование. Встречается он в малых количествах и в немногих местах земного шара. Известны отдельные находки волконскоита и схожих с ним минералов в Югославии, Италии, США и Иордании. И только Приуралье (а точнее, Пермская и Кировская области и Удмуртская АССР) остается единственной территорией, где известны относитель-

но крупные проявления и месторождения редкого минерала.

Слабо изучен сложный химический процесс образования минерала. Впрочем, для приуральских месторождений установлено, что волконскоит приурочен к древним речным отложениям и встречается среди них не повсеместно, а лишь на тех участках, где есть скопления органических древесных остатков. Обломки древесных стволов и цельные стволы закоронены в песчаниках и конгломератах позднeperмской эпохи. Волконскоит развивается в виде псевдоморфоз, т. е. замещает древнюю древесину, часто встречаются окаменелые стволы деревьев, в различной степени замещенные волконскоитом. Залежи минерала встречаются в виде отдельных обособленных, обычно удлиненных, нередко разветвленных тел, повторяющих форму древесного ствола с ветвями. Размеры тел колеблются в очень широких пределах: от нескольких сантиметров до нескольких метров по длине и от 1—2 до нескольких десятков сантиметров в поперечнике. Мощность волконскоитовых тел колеблется от 1—2 см до 0,5 м. Разведанные месторождения волконскоита имеют небольшие размеры, запасы минерала составляют от 4,7 до 47,9 т для отдельных месторождений.

Волконскоит не имеет постоянного химического состава и представляет собой гетерогенную смесь компонентов. Большинство исследователей определяет его как глинистый минерал из группы монтмориллонита, содержащий хром. При обобщении результатов химических анализов волконскоита, произведенных с 1833 по 1982 г., отмечается сильное расхождение в содержании основных окислов, несмотря на то что во многих случаях пробы для анализа взяты из одного месторож-

дения, а иногда даже из одного волконскоитового тела. Содержание окиси хрома (Cr_2O_3) колеблется в широких пределах: от 11,9% до 24,9%. Четкой зависимости окраски минерала от содержания окислов хрома и железа не наблюдается. Цвет волконскоита изменяется от светло-зеленого до темно-зеленого, реже встречаются зелено-ватые и черные разновидности.

Активизированный волконскоит схож с пермутитами (от лат. *permuta* — меняю) по способности обменивать свои ионы на ионы из окружающей среды, реже встречаются зелено-ватые разновидности. Пермутитидные свойства волконскоита особенно ценны из-за значительной кислотостойкости. Его обменная способность (составляющая 2,3%) много выше, чем у искусственных и естественных пермутитов. Попытки использовать волконскоит в промышленности как пермутит или для выделения хрома оказались нерентабельными из-за ограниченности запасов и сравнительно низкого содержания окиси хрома.

Замечательные красящие свойства минерала позволяют уже более 50 лет использовать его в производстве художественных красок. Только два предприятия в мире выпускают художественную краску «Волконскоит» зеленого цвета. Это Ленинградский завод художественных красок Министерства химической промышленности СССР и Производственный комбинат Художественного фонда СССР в г. Подольске. Живописцы высоко ценят волконскоитовую краску за ее лессировочные (просвечивающие) свойства, которых лишены искусственные краски зеленого цвета.

Космические исследования

Орбитальная станция «Мир»

20 февраля 1986 г. в Советском Союзе запущена орбитальная научная станция «Мир». Ракета-носитель вывела станцию на начальную геоцентрическую орбиту с высотой в апогее 319 км, в перигее — 178 км, наклоном 51,6° и периодом обращения 89,2 мин.

«Мир» представляет собой орбитальную станцию «третьего поколения». Она оснащена новой системой стыковки с шестью стыковочными узлами и представляет собой базовый блок для построения многоцелевого постоянно действующего пилотируемого комплекса со специализированными орбитальными модулями¹ научного и народнохозяйственного назначения. Таким образом, в состав орбитального пилотируемого комплекса входят базовый орбитальный блок, научные и народнохозяйственные модули, пилотируемые и грузовые транспортные корабли.

Из шести стыковочных агрегатов орбитального блока два — осевые — для использования в целях стыковки кораблей и модулей; четыре боковых агрегата являются рабочими местами только для модулей.

Орбитальный блок состоит из следующих отсеков: герметичного переходного, герме-

тичного рабочего, герметичной переходной камеры и негерметичного агрегатного отсека.

Переходный отсек представляет собой сферическую оболочку диаметром 2,2 м, переходящую в усеченный конус; общая длина отсека 2,5 м. На переходном отсеке расположены пять стыковочных узлов, один из них предназначен для стыковки кораблей и модулей, а четыре — для размещения модулей.

Рабочий отсек образован двумя сферическими днищами (переднее со стороны переходной камеры), двумя цилиндрическими и конической обечайками. Наибольший диаметр отсека 4,1 м, длина — 8,6 м.

В рабочем отсеке установлено основное оборудование орбитального блока, размещены посты управления станцией, зоны для работы экипажа, выполнения физических упражнений, отдыха, приема пищи и т. д. Переходная камера представляет собой цилиндрическую обечайку длиной 1,3 м и диаметром 2 м; на ней размещен один стыковочный узел.

Агрегатный отсек — это цилиндрическая обечайка длиной 2,3 м и диаметром 4,1 м. В нем размещены двигательная установка (два маршевых двигателя тягой по 300 кг и 32 реактивных двигателя ориентации тягой по 13 кг), антенны системы сближения, световые индексы, стыковочные мишени, антенны радиолинии связи через спутник-ретранслятор и другое оборудование.

На станции «Мир» на базе современной электронно-вычислительной техники максимально автоматизированы процессы управления движением, работой бортовых систем и научной аппаратурой. Увеличена

мощность системы энергоснабжения, созданы более комфортные условия для работы и отдыха космонавтов, установлено новое оборудование.

В начальном этапе полета станции «Мир» планируются испытания элементов ее конструкции, бортовых систем и аппаратуры в автоматическом, а затем и пилотируемом режимах. Одновременно будет отработываться управление полетом станции с использованием спутников-ретрансляторов. В дальнейшем предусматривается доставка к орбитальному блоку специализированных модулей, оснащенных научной аппаратурой.

С. А. Никитин
Москва

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (январь — февраль 1986 г.)

В январе — феврале 1986 г. в Советском Союзе было запущено 23 космических аппарата, в том числе 21 спутник серии «Космос» с научной аппаратурой для продолжения исследований космического пространства.

Очередной спутник связи «Радуга» выведен на близкую и стационарную круговую орбиту и оборудован бортовой ретрансляционной аппаратурой, предназначенной для обеспечения в сантиметровом диапазоне длин волн непрерывной круглосуточной телефонно-телеграфной радиосвязи и одновременно передачи цветных и черно-белых программ Центрального телевидения СССР.

¹ Модулем считается наращиваемый отсек станции, в котором будет размещено специальное оборудование для проведения исследований.

| Космический аппарат | Дата запуска | Параметры начальной орбиты | | | |
|---------------------|--------------|----------------------------|------------|-----------------|-----------------------|
| | | перигей, км | апогей, км | накло-ние, град | период обращения, мин |
| «Космос-1715» | 8.1 | 207 | 317 | 72,8 | 89,4 |
| «Космос-1716—1723»* | 9.1 | 1 447 | 1 516 | 74 | 115 |
| «Космос-1724» | 15.1 | 179 | 358 | 67,2 | 89,5 |
| «Космос-1725» | 16.1 | 989 | 1 016 | 82,9 | 104,9 |
| «Космос-1726» | 17.1 | 649 | 676 | 82,5 | 97,7 |
| «Радуга» | 17.1 | 36 578 | 36 578 | 1,2 | 1 476 |
| «Космос-1727» | 23.1 | 982 | 1 029 | 82,6 | 104,9 |
| «Космос-1728» | 28.1 | 214 | 305 | 70 | 89,4 |
| «Космос-1729» | 1.11 | 614 | 39 342 | 62,8 | 709 |
| «Космос-1730» | 4.11 | 206 | 333 | 72,9 | 89,5 |
| «Космос-1731» | 7.11 | 191 | 293 | 65 | 89 |
| «Космос-1732» | 11.11 | 1 497 | 1 538 | 73,6 | 116 |
| «Мир» | 20.11 | 178 | 319 | 51,6 | 89,2 |
| «Космос-1733» | 20.11 | 643 | 674 | 82,5 | 97,4 |
| «Космос-1734» | 26.11 | 176 | 371 | 67,1 | 89,6 |
| «Космос-1735» | 27.11 | 416 | 440 | 65 | 92,8 |

* Восемь спутников «Космос-1716, ..., 1723» запущены одной ракетой-носителем.

Новая орбитальная станция «Мир» — станция «третьего поколения». Параметры ее орбиты после коррекции составили: высота в апогее 352 км, в перигее — 324 км, наклонение 51,6°, период обращения 91,6 мин.

Астрофизика

Быстрый пульсар в Лебеде X-3

Группа физиков из Даремского университета (Великобритания) зарегистрировала пульсирующее γ -излучение с энергией, превышающей 10^{12} эВ, от известного галактического рентгеновского источника Лебедь X-3. Период пульсаций равен $12,5908 \pm 0,0003$ мс, что позволило предположить наличие быстрого пульсара в составе этого источника¹.

К настоящему времени обнаружено несколько миллисекундных пульсаров², в том числе и в γ -диапазоне, поэтому

открытие еще одного — не столь необычное явление. Однако обнаружение миллисекундного пульсара, входящего в двойную систему Лебедь X-3, может существенно изменить наши представления о происхождении космических лучей.

Лебедь X-3 — двойная система с орбитальным периодом 4,8 ч. Он излучает в широком диапазоне длин волн — от радиоволн до гамма-квантов ультравысоких энергий; поток энергии от него примерно одинаков во всех диапазонах.

Предлагалось несколько моделей, объясняющих свойства этого источника. Результаты, полученные даремской группой, позволили существенно сузить круг рассматриваемых моделей. Анализировались данные по регистрации черенковского излучения в атмосфере Земли, создаваемого частицами с энергией, превышающей 10^{12} эВ. По-видимому, γ -излучение возникает в процессах с участием ускоренных протонов. В качестве их источника в двойной системе рассматриваются пульсары. Поэтому обнаружение пульсара в составе

Лебеда X-3 и явилось мощным подтверждением этой модели.

В более общем виде модель была предложена В. С. Березинским (Институт ядерных исследований АН СССР); затем использована Т. Вестрандом и Д. Аиклером (США) для объяснения природы γ -излучения Лебеда X-3. Согласно этой модели, активный пульсар, ускоряющий протоны до сверхвысоких энергий, вращается вокруг массивной звезды-компаньона. По оценкам даремской группы, величина орбитальной скорости равна 80 км/с. В момент, когда пучок ускоренных протонов проходит сквозь атмосферу звезды-компаньона, и возникают благоприятные условия для генерации γ -излучения.

Итак, впервые в Галактике обнаружен источник, инжектирующий релятивистские протоны. До сих пор в ходе наблюдений удавалось зарегистрировать источники релятивистских электронов (оболочки сверхновых, пульсары). Обнаружение протонного источника важно прежде всего потому, что космические лучи в основном состоят из протонов. По оценкам, светимость Лебеда X-3, создаваемая ускоренными протонами, составляет примерно 10^{40} эрг/с. Именно такой мощностью должны обладать источники космических лучей, чтобы обеспечить светимость всей Галактики в космических лучах.

До сих пор в качестве наиболее вероятных источников космических лучей рассматривались сверхновые звезды, энергетика которых вполне достаточна, чтобы обеспечить наблюдаемый поток космических лучей. Однако этот же поток могут создать всего несколько источников типа Лебеда X-3.

Таким образом, в связи с открытием пульсара в Лебеде X-3 может возникнуть необходимость в пересмотре существующих схем происхождения космических лучей.

В. А. Догель,
кандидат физико-математических наук
Москва

¹ Chadwick P. M. et al.// Nature. 1985. Vol. 318. №6047. P. 642—644.

² См., напр.: Открыт новый внегалактический пульсар // Природа. 1985. № 5. С. 104.

Астрономия

Странное кольцо Нептуна

Группа астрономов, работающих на Южной европейской обсерватории в Кампанас (Чили), наблюдала прохождение планеты Нептун вблизи звезды SAO 186 001. (Разумеется, оба объекта оставались на огромном расстоянии друг от друга, и их «сближение» было лишь видимым для земного наблюдения эффектом.)

В ходе наблюдений в течение 1 с произошло покрытие звезды каким-то объектом, находившимся вблизи Нептуна; яркость звезды на это время уменьшилась примерно на 35 %.

В то же время группа астрономов обсерватории Серро-Тололо (Чили), находившаяся примерно в 90 км от первой группы, независимо получила почти идентичные результаты.

Анализ и сопоставление информации, полученной обеими группами, позволили заключить, что Нептун, по-видимому, обладает кольцом.

Предположение о том, что уменьшение яркости звезды вызвано не кольцом, а неизвестным спутником Нептуна, по мнению У. Хаббарда (W. Hubbard; Университет штата Аризона, США), следует отвергнуть. Ведь наблюдения проводились в точках, отстоящих на 90 км друг от друга, а судя по времени покрытия звезды, объект, вызвавший это явление, имел диаметр всего от 10 до 20 км, что маловероятно для спутника.

Итак, наиболее вероятно, что падение светимости звезды вызвано кольцом Нептуна, о существовании которого до сих пор не было известно.

Одно неясно, почему на обеих обсерваториях не наблюдалось второго покрытия — когда звезда проходила за другой частью предполагаемого кольца, по другую сторону планеты. Возможно, кольцо Нептуна не замкнуто, и свет звезды проходил через пробел в нем. Ведь снимки «Вояджера» свидетельствовали в свое время о «неполноте» некоторых колец Юпитера. Воздействие сил тяготения со стороны спутников может вызывать «пробелы» в кольцах.

Не исключено, что кольцо в отдельных своих частях имеет столь большую ширину, что плотность составляющих его частиц становится малой и почти не препятствует прохождению света. Или наоборот, слишком узкий отрезок кольца нельзя пока наблюдать с Земли.

Science News, 1985, v. 127, No 3, p. 37 (США)

Астрономия

Уран выглядит иначе

В конце ноября 1985 г. межпланетная станция «Вояджер-2» приблизилась к Урану на расстояние около 80 млн км. Полученные с ее борта данные заставляют пересмотреть общепринятые представления об этой планете.

Так, не подтверждено существование многих деталей на поверхности Урана, определенных ранее по наблюдениям с Земли: отсутствует полоса облачности, не регистрируется радиоизлучение, которое должно было бы существовать, если бы планета обладала заметным магнитным полем.

По данным международного спутника «ИЕ» Уран является источником мощного ультрафиолетового излучения. Еще до измерений «Вояджера-2» предполагалось, что излучение связано с полярными сияниями, возникающими при захвате атомов водорода магнитным полем планеты. Затем это явление объяснялось свечением верхних слоев атмосферы Урана при вторжении в них высокоскоростных частиц солнечного ветра. Теперь эта гипотеза более приемлема, так как она совместима с данными об отсутствии у планеты магнитного поля и, тем самым, металлического ядра, которое, очевидно, имеется у Юпитера и Сатурна.

Разрешающая способность фотокамер «Вояджера-2» позволила различать вблизи поверхности планеты объекты поперечником до 1500 км. Тем не менее, следов облачности на Уране они не зарегистрировали. Полученные цветные снимки

свидетельствуют о том, что мощный слой атмосферы имеет синеватый оттенок, говорящий о присутствии в ней метана.

Ряд неожиданностей принесли наземные наблюдения Урана, выполненные Г. Ортоном (G. Orton; Лаборатория реактивного движения, Пасадена, США). Анализ наблюдений в инфракрасной области спектра показал, что атмосферу Урана на 73 % составляет гелий. Напомним, что в атмосфере других планет-гигантов, Юпитера и Сатурна, этот газ занимает лишь 7 %, а во Вселенной в целом атомы гелия составляют всего около 10 %.

24 января 1986 г. «Вояджер-2» прошел точку наибольшего сближения с Ураном. Обработка полученных данных продолжается.

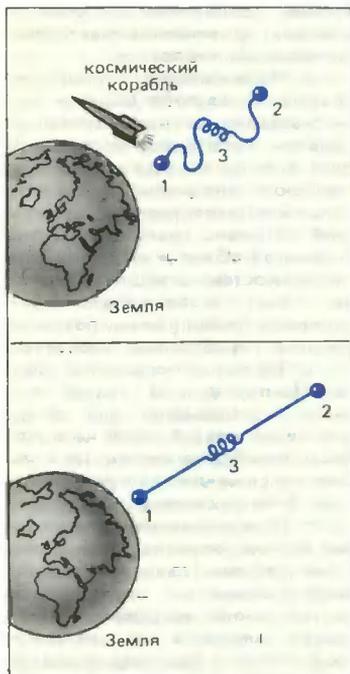
New Scientist, 1985, v. 1484, p. 21 (Великобритания).

Физика

«Небесный крик» — детектор гравитационных волн

Поиски гравитационных волн, приходящих из космоса, — одна из интереснейших научных проблем. Удача означала бы возникновение совершенно новой области науки — гравитационно-волновой астрономии. Ведь гравитационные волны возникают при весьма экзотических процессах, таких как катастрофический коллапс звезд, столкновения нейтронных звезд или черных дыр, взаимодействие объектов в двойных системах и т. д. Однако обнаружить гравитационные волны пока никому не удавалось.

Их действие сводится к ничтожно малым изменениям расстояний между телами или отдельными частями одного и того же тела. Вблизи Земли амплитуды гравитационных волн всегда крайне малы, даже если около источников они были значительными. Относительные изменения расстояний по порядку величины равны амплитуде гравитационной волны: $\Delta l/l \approx h$ и, по оценкам астрофизиков, должны составлять $10^{-17} - 10^{-21}$. Что-



Принцип действия нового детектора гравитационных волн. 1, 2 — массы на концах кабеля, 3 — пружина.

бы измерить столь малые изменения расстояний, ученые вынуждены изобретать сложные и остроумные устройства.

В. Б. Брагинский (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) и К. Торн (K. S. Thorne; Калифорнийский технологический институт, США) предложили новый детектор гравитационных волн весьма простой, но оригинальной конструкции¹. Представим себе две массы по 20 кг, соединенные тонким (0,6 мм) кабелем длиной 25 км. Примерно посредине кабель разрезан и в него вставлена пружина. Помещается эта конструкция в космосе, на орбите вокруг Земли: из космического корабля выбрасываются две соединенные массы, под действием приливных гра-

витационных сил со стороны Земли кабель растягивается по радиусу — и детектор готов к приему гравитационных волн (см. рис.).

При указанной длине кабеля и специально подобранной жесткости пружины детектор наиболее чувствителен к приему гравитационных волн с частотой 10^{-2} — 10^{-1} Гц. Если сигнал имеет характер всплеска длительностью примерно 10 — 100 с, то предлагаемое устройство позволяет зарегистрировать сигнал с амплитудой 10^{-17} . Поскольку кабель выбирается так, чтобы растянуть его было намного труднее, чем пружину, то даже столь малое относительное смещение масс на его концах (10^{-17}) приведет к заметному растяжению центральной пружины $\Delta x \approx 10^{-11}$ см. А в случае периодического гравитационно-волнового сигнала детектор становится примерно в 100 раз чувствительнее. Появляется возможность накапливать сигнал в течение длительного времени.

Если загадочный объект Геминга — в самом деле двойная система, содержащая белый карлик и черную дыру, с периодом обращения 1 мин, то с помощью предлагаемого детектора можно будет обнаружить гравитационное излучение от Геминги примерно за несколько недель.

По мнению авторов, предлагаемый детектор сравнительно дешев, прост в изготовлении, обладает весьма низким уровнем помех. Кроме того, диапазон частот, в котором он сможет работать, на сегодняшний день представляется весьма перспективным. Авторы назвали свой детектор «небесным крюком» («skyhook»). Казалось бы, ничего похожего на крюк в конструкции нет. Но в одной американской детской сказке говорится о небесном крюке, который появлялся в трудную минуту на небе, чтобы кому-то помочь. Быть может, новый детектор, существующий пока только в проекте, поможет, наконец, «поймать» гравитационные волны?

Блуждающие или локализованные?

Существуют две конкурирующие модели для описания ферромагнетизма в металлах. В одной из них, модели Хаббарда, ферромагнетик описывается в виде набора ионов, обладающих магнитным моментом. Ионы связаны обменным взаимодействием и поэтому при нулевой температуре располагаются упорядоченно. Нагрев уничтожает порядок, но локальные магнитные моменты остаются.

Другая модель, модель Стонера, получившая в английском языке название «блуждающий магнетизм» (itinerant magnetism), отказывается от представления о моментах, локализованных на ионах, и описывает ферромагнетик как двухкомпонентную электронную жидкость. В ней фигурируют коллективизированные, «блуждающие» электроны с определенным спином, их плотность $n_{\uparrow}(r)$ непрерывно распределена по металлу. Электроны с противоположным спином $n_{\downarrow}(r)$ распределены как то иначе, например их может быть больше, и тогда в металле появляется непрерывно распределенный по всему объему магнитный момент:

$$m(r) = n_{\downarrow}(r) - n_{\uparrow}(r).$$

Какая же модель ближе к истине? Спор ведется давно и с переменным успехом. Недавно появился сильный аргумент в пользу модели Стонера. Состоит он в следующем.

До сих пор преимуществом этой модели считалось то, что рассчитанная с ее помощью намагниченность классических ферромагнетиков (железа, никеля, кобальта) хорошо подтверждалась экспериментом. Модель Хаббарда не способна дать такое описание, но зато она разумно и естественно объясняла высокотемпературные свойства магнетиков — сам магнитный переход и особенность поведения магнетиков выше температуры перехода, в парамагнитной фазе. В рамках модели Стонера этого добиться не

А. Г. Полнарев, кандидат физико-математических наук
Москва

¹ Braginsky V. B., Thorne K. S. — Nature, 1985, v. 316, p. 610.

удавалось, поскольку пользоваться ею в ситуации, когда распределение магнитного момента различно в разных элементарных ячейках кристалла, просто не умели. Если же предположить, что во всех ячейках это распределение одинаково, то исчезнуть магнитный момент может только сразу по всему кристаллу, и кристалл превращался в обычный парамагнетик. В результате получалось, что температура перехода, например, в железе, должна быть в восемь раз больше, чем наблюдалось в эксперименте, а о правильном описании свойств парамагнитной фазы нечего было и говорить.

Развитие вычислительной техники и методов вычислительной физики твердого тела привело к тому, что появилась возможность в рамках модели Стонера учесть флуктуации величины $m(r)$ от ячейки к ячейке. Такие расчеты были проведены группой специалистов из Университета г. Бристоль (Великобритания). Оказалось, что с повышением температуры среднее значение $m(r)$ мало меняется от ячейки к ячейке, а вот направление магнитного момента меняется (что сближает модель Стонера в такой формулировке с моделью Хаббарда). Удалось достаточно хорошо описать температуру перехода в железе, а также его высокотемпературные свойства.

Итак, сторонники модели Стонера получили новый и очень сильный аргумент в давнишнем споре с «хаббардистами»!

Journal of Physics F, 1985, v. 15, p. 1337—1386 (Великобритания)

Техника

Дистанционное измерение ветра

В Национальном управлении по изучению океана и атмосферы США разработан наземный комплекс аппаратуры, обеспечивающий старт космических кораблей оперативными метеосводками. В состав комплекса входит «дуплеровский»

радар, позволяющий получать профили распределения скорости ветра по высотам непосредственно над стартовой площадкой. Комплекс прошел испытания в Космическом центре имени Дж. Кеннеди НАСА.

Резкие изменения скорости и направления ветра над стартовой площадкой могут создавать напряжения в корпусе космического корабля; кроме того, возможны серьезные нарушения в работе контрольных систем. Поэтому для расчета начальной траектории полета исключительно важна точная информация о параметрах ветра; причем эти данные должны быть переданы за минимально короткий интервал времени между моментом их получения и стартом космического корабля. Такие сведения и позволяет получать разработанный комплекс.

Несколько стартов, предшествующих созданию комплекса, было отложено, поскольку метеорологические приборы, запущенные на шарах-зондах, зарегистрировали сильные ветры на высоте 16—18 км от земной поверхности. Информация была получена с шаров-зондов за час до старта.

В дальнейшем комплекс аппаратуры будет давать сведения о параметрах ветра, температуре воздуха и содержании в нем водяного пара во всем воздушном столбе над местом измерений. Информация будет поступать каждые пять минут, тогда как сейчас она поступает два раза в сутки. В восточной части штата Колорадо размещена сеть метеорологических комплексов, информация с которых будет использоваться для совершенствования методики краткосрочных прогнозов.

Bulletin of the American Meteorological Society, 1985, v. 66, № 4, p. 459 (США).

Биофизика

Термо- и фоточувствительность опухолевых клеток

Американские радиобиологи разрабатывают новый метод уничтожения опухолевых

клеток, основанный на сочетании двух физических факторов: светового и теплового.

Поражающее действие света используется давно и носит название фотодинамической терапии. Процедура состоит из двух этапов; сначала клетки поглощают специальный краситель — гематопорфирин, делающий их очень чувствительными к красной области спектра. При последующем освещении клетки гибнут, и их гибель обусловлена, по-видимому, повреждением мембранных структур.

Тепловое поражение клеток (гипертермия) также активно используется для лечения. Тепло воздействует не только на мембраны клетки, но и на многочисленные внутриклеточные биохимические процессы.

Поиски различных сочетаний противоопухолевых воздействий вызваны главным образом неоднородностью опухоли. Ее клетки имеют широкий спектр чувствительности к любому токсическому фактору, поэтому применение нескольких факторов может увеличить число погибших клеток. При комплексном воздействии наблюдаются как явления синергизма (взаимного усиления действующих агентов), так и развитие взаимного подавления, проявляющегося в повышенной устойчивости клеток к одному фактору после действия другого фактора, направленного, на первый взгляд, на иные внутриклеточные мишени.

Выбор оптимальных сочетаний таких факторов исследователи начинают не на целом организме, а на культуре клеток. Т. Манг и Т. Догерти (Т. Mang, T. Dougerly; Отдел радиационной медицины, Буффало, США) использовали культуру клеток из опухоли молочной железы мыши. Изучалось взаимодействие фотодинамической терапии и гипертермии при различных комбинациях длительности воздействия и их последовательности. Для нагрева клеток использовалась водяная баня с температурой 45,2 °С, а облучение велось обычным светом (длина волны 620—640 нм, выходная плотность мощности около 4 мВт/см²).

Изучение доли выживших клеток прежде всего показало,

что тепло и свет могут действовать синергически, но эффективность поражения клеток зависит от последовательности воздействия. Наибольшая эффективность получена, когда 5—10-минутная гипертермия следовала непосредственно за фотодинамической терапией. Если сделать перерыв между облучением и нагревом, т. е. дать клеткам «передохнуть» при температуре 37 °С, эффективность воздействия факторов уменьшается. Изменяя продолжительность «передышки», авторы нашли, что время, за которое эффективность уменьшается вдвое, равно в среднем 30 мин. Если еще больше увеличить временной промежуток, синергизм сменяется развитием термостойчивости, которая обусловлена двумя причинами. Во-первых, клетки успевают «залечить» повреждения, полученные при облучении, и им легче перенести последующий нагрев, а во-вторых, они начинают активно защищаться, резко усиливая синтез белков, отвечающих за терморезистентность клеток. Photochemistry and Photobiology. 1985. Vol. 42. № 5. P. 533—540 (Великобритания)

Биофизика

Антиокислитель замедляет старение

Антиокислители, замедляющие или предотвращающие окислительные процессы, ведущие к старению полимеров, осмолению топлив, прогорканию жиров, составляют наиболее исследованный класс герпротекторов, т. е. веществ, предохраняющих организм от старения. Производные 1,4-дигидропиридина, относящиеся к антиокислителям, можно рассматривать как структурные аналоги восстановленных форм природных окислительно-восстановительных коферментов НАД (никотинамидадениндинуклеотид) и НАДФ (никотинамидадениндинуклеотидфосфат). Этим, по-видимому, и объясняется их высокая физиологическая активность: способность стабилизировать мембраны эритроцитов, ингибировать процес-

сы перекисного окисления каротина и жирорастворимых витаминов и пр.

Группа исследователей из Института химической физики АН СССР и Института органического синтеза АН ЛатвССР установила герпротекторные свойства у 2,6-диметил-3,5-диэтоксикарбонил - 1,4 - дигидропиридина. В опытах использовали лабораторных мышей, получавших препарат с пищей ежедневно начиная с 9-месячного возраста. Другим объектом исследования служили лабораторные популяции мухи дрозофилы; изучаемый препарат добавлялся в культуральную среду. Мышей и дрозофил содержали при температуре 25 °С. Изменение скорости старения под влиянием препарата оценивалось по статистически достоверным различиям показателей выживания контрольных и подопытных групп животных.

Средняя продолжительность жизни при содержании животных на рационе с добавкой антиокислителя увеличилась на 21 % у мышей и на 29 % у дрозофил. Важными преимуществами 2,6-диметил-3,5-диэтоксикарбонил-1,4-дигидропиридина в сравнении с другими синтетическими антиокислителями, используемыми как герпротекторы, являются его нетоксичность, что допускает широкое варьирование доз, и более высокая герпротекторная активность по отношению к теплокровным животным.

Доклады АН СССР. 1985. Т. 284. № 5. С. 1271—1274.

Молекулярная биология

Новый метод растворения тромбов

Одной из причин снижения кровоснабжения сердца и инфаркта миокарда является тромбоз коронарных сосудов. Для лизиса (растворения) тромбов широко применяются тромболитические препараты урокиназа и стрептокиназа. Однако эти ферменты обладают существенным недостатком при клиническом использовании. Де-

ло в том, что и урокиназа, и стрептокиназа активируют фермент плазмин, который катализирует не только растворение фибрина, из которого состоит тромб, но и растворение фибриногена, предшественника фибрина. Общий фибринолиз приводит к значительным кровотечениям. Поэтому необходимо повысить специфичность действия тромболитических препаратов.

В лаборатории, руководимой Э. Хабером (E. Haber; Отделение кардиологии Массачусетского госпиталя, Бостон, США), использовали новый подход. Урокиназу ковалентно связали с моноклональными антителами к N-концевому фрагменту фибрина человека, состоящему из 7 аминокислот. Такие антитела с высоким сродством распознают фибрин в составе тромба, но не связываются с фибриногеном. Антитела направленно переносили урокиназу к фибриновому компоненту тромба, в результате чего резко возросла концентрация фермента в зоне инфаркта. Благодаря этому эффективность растворения фибрина возрастает примерно в 100 раз. Важно подчеркнуть, что полученные антитела обладают настолько высокой специфичностью к фибрину, что физиологические концентрации фибриногена не влияют на эффективность фибринолиза. Science. 1985. Vol. 229. P. 765—767 (США).

Молекулярная биология

Как белки движутся через клетку

Некоторые белки способны проходить через клетки, не изменяя при этом своей структуры и свойств. Такой избирательный перенос белков называется транцитозом. В Институте Уайтхеда (Кембридж, США) этот важный процесс был подробно изучен группой исследователей под руководством К. Мостова (K. Mostov) на примере переноса полимерных иммуноглобулинов из крови че-

рез эпителиальные клетки выводящих протоков в различные секреты (молоко, слюну, желчь, слезы).

Транцитоз начинается с присоединения иммуноглобулина к специфическому белковому рецептору, расположенному на мембране внутренней, обращенной к стенке протока стороны клетки. Комплекс иммуноглобулин — рецептор поглощается клеткой, транспортируется через нее и выводится с наружной стороны в просвет канала. На определенном этапе этого пути рецептор расщепляется таким образом, что та его часть, которая непосредственно реагирует с белком, остается в комплексе с последним и после секреции. Из этого следует, что сам рецептор используется лишь один раз.

В других случаях транспорт белка может идти в обратном направлении. Так, у новорожденных крыс мономерные иммуноглобулины G из просвета кишечника попадают в кровь, проходя через эпителиальные клетки от наружной к внутренней стороне. Здесь транцитоз осуществляется с помощью рецептора, который связывает иммуноглобулин при pH 6 (т. е. при обычной концентрации водородных ионов кишечного сока). Однако при pH 7,5 (как в крови) этот комплекс распадается. Сам рецептор не изменяется и, вероятно, используется многократно.

Важность такого рода исследований очевидна, поскольку транцитоз характерен для многих белков (например, для инсулина) и обнаруживается в целом ряде процессов на молекулярном уровне.

Cell, 1985. Vol. 43. № 2. P. 389—390 (США)

Генетика

Незначущая РНК и регуляция генов

Как заставить гены «включаться» и «выключаться» по нашему желанию? Задача управления генетической информации,

записанной в виде последовательности нуклеотидов ДНК, имеет фундаментальное значение для онкологии, ветеринарии и животноводства, педиатрии и геронтологии, для многих других дисциплин. Принципиально новый подход к регуляции экспрессии генов связан с незначущими РНК.

Как известно, генетическая информация записана только на одной из двух нитей ДНК. С этой, кодирующей, нити информация считывается (транскрибируется) на одонитивную РНК, которая, собственно, и служит матрицей для синтеза белка. Что произойдет, если такая РНК станет двунитовой? Этот вопрос был поставлен в работе Дж. Изанта (J. G. Izant) и Г. Вейнтрауба (H. Weintraub), проведенной в Центре исследования рака (Ситтл, США).

Сначала авторы вводили в клетку две плазмиды (молекулы внехромосомной ДНК), одна из которых содержала ген тимидинкиназы вируса герпеса в правильной ориентации, а вторая — тот же ген в ориентации «задом наперед», так что со второй плазмиды считывалась не кодирующая, а комплементарная ей, незначущая, нить ДНК. В результате транскрипции с обеих плазмид получились две нити РНК, которые, взаимодействуя, инактивировали друг друга. Синтез белка (тимидинкиназы) при этом прекращался. Затем исследователи заменили ген вируса на клеточный ген и повторили опыт — результат был таким же. На третьем, решающем этапе выяснялось, может ли незначущая последовательность нуклеотидов, расположенная в составе плазмиды, регулировать работу клеточного гена, который находится в составе хроматина. И в этом случае ген «выключался».

Предложенный метод пока что нельзя использовать для регуляции процессов синтеза белка в таком сложном многоклеточном организме, как человеческий. Однако ясно, что с помощью незначущей РНК удается регулировать работу практически любого гена, присутствующего в клетке. Заложены надежный фундамент для будущих

исследований, результаты которых позволят «включать» или «выключать» гены.

Science, 1985. Vol. 229. № 4711. P. 345—352 (США).

Иммунология

Структура комплекса антиген-антитело

Один из важнейших объектов исследований в иммунологии — это специфический комплекс, образующийся из молекул антигена и антитела к этому антигену, синтезируемого в результате иммунной реакции. Исследователям из парижского Института Пастера и Университета Брандейза (США) во главе с Р. Поляком (R. J. Polyak) и А. Нисоновым (A. Nisonoff) впервые удалось получить кристаллы комплекса активного Fab-фрагмента антитела и соответствующего белкового антигена, а затем изучить этот комплекс рентгеноструктурным методом. В качестве антигена был использован небольшой белок — лизоцим, пространственная структура которого хорошо известна. Моноклональные антитела к нему были образованы гибридомными клетками мыши.

Полученные результаты принципиально важны для понимания взаимодействия антигена и антител. Обнаружилось, что в реакции взаимодействия участвуют два довольно протяженных участка антигена, построенных из 8 и 13 аминокислотных остатков. Часть антитела, реагирующая с антигеном, не ограничивается только полостью, построенной гипервариабельными участками обеих пептидных цепей молекулы антитела, как это обычно предполагалось, а охватывает заметную большую поверхность. Общая площадь контакта молекул антитела и антигена занимает приблизительно $20 \times 25 \text{ \AA}$. Реакция не приводила к сколько-нибудь значительному изменению пространственной структуры антигена.

Всего одна аминокислотная замена в контактирующем участке антигена сильно изменяла его способность образовывать

вать комплекс с антителом. Именно этим можно объяснить ускользание патогенных вирусов и бактерий из-под контроля иммунной системы благодаря единственной точечной мутации, приводящей к одной аминокислотной замене. Очевидно, что уточнение положения отдельных атомов контактирующих молекул позволит уяснить детали взаимодействия антитела и антигена, что в свою очередь приведет к пониманию молекулярных основ специфичности антител и механизмов их функционирования.

Annales de l'Institut Pasteur / Immunologie. 1985. Vol. 136 C. № 1. P. 121—129 (Франция).

Иммунология

Белок, подавляющий иммунный ответ

До сих пор неизвестно, почему в период беременности иммунная система материнского организма, как правило, не реагирует на белки плода, несмотря на то что часть из них чужеродна, поскольку кодируется генами, наследуемыми от отца. Работа, выполненная в Национальном институте рака США Э. Мачмором (A. V. Muchmore) и Дж. Джексом (J. M. Decker), отвечает, по крайней мере частично, на этот вопрос.

Исследователи выделили из мочи беременных женщин белок (гликопротеин с молекулярной массой 85 000 Д), который даже в очень низких концентрациях способен тормозить ранние этапы размножения Т-лимфоцитов под воздействием антигенов. Этот белок, названный уромодулином, подавлял также токсическое действие моноцитов (кровяных клеток, возникающих на промежуточной стадии дифференцировки фагоцитов) на другие клетки, но не оказывал никакого влияния на В-лимфоциты. Сам по себе уромодулин не токсичен.

Вполне вероятно, что именно уромодулин предотвращает иммунный ответ матери и тем самым избавляет плод от иммунной атаки. Последующие исследования долж-

ны показать, можно ли использовать уромодулин для торможения иммунного ответа и в других случаях.

Science. 1985. Vol. 229. № 4712. P. 479—485 (США).

Медицина

Новый метод диагностики сердечных заболеваний

Электрокардиография — детально разработанный и широко распространенный инструментальный метод исследования в медицине. В настоящее время описаны все элементы электрокардиографической кривой, изучена диагностическая значимость различных изменений электрокардиограммы (ЭКГ). Однако М. Циммерман с соавторами (M. Zimmermann; Женева, Швейцария) установили, что с помощью ЭКГ можно дополнительно получить важную информацию о состоянии человеческого сердца, не выявляемую, правда, в обычном методе регистрации ЭКГ. Речь идет о так называемых поздних желудочковых потенциалах — низкоамплитудных сигналах, возникающих в некоторых случаях на ЭКГ. Регистрация их возможна при применении специальной аппаратуры, осуществляющей частотную фильтрацию и усиление ЭКГ-сигналов в 10^5 — 10^6 раз.

Применяя подобный метод записи ЭКГ, исследователи не обнаружили поздних желудочковых потенциалов на ЭКГ здоровых людей, тогда как в группе из 92 человек, страдающих ишемической болезнью сердца, они отмечались в 38 % случаев. Среди тех членов обследованной группы, которые пережили тяжелые и опасные для жизни нарушения сердечного ритма (желудочковая тахикардия, фибрилляция желудочков), поздние желудочковые потенциалы отмечены в 82 % случаев. При дальнейшем наблюдении в течение 6—8 мес тяжелые нарушения сердечного ритма возникли у 31 % больных, ЭКГ которых показала поздние желудочковые потенциалы.

Возможно, эти сигналы

отражают нарушения проводимости в ишемизированных и рубцовых тканях миокарда, которые, как известно, способствуют возникновению нарушений сердечного ритма. Авторы высказывают предположение, что обнаружение поздних желудочковых потенциалов, не регистрируемых на обычной ЭКГ, могло бы способствовать выявлению людей, имеющих склонность к развитию опасных нарушений сердечного ритма. Новые исследования помогут в недалеком будущем окончательно установить диагностическую значимость этого признака.

American Heart Journal. 1985. Vol. 109. № 4. P. 725—732 (США).

Психифизиология

Восприятие сигналов в состоянии гипноза

Психологи А. Ф. Барабаш и К. Лонсдейл (A. F. Barabasz, C. Lonsdale; Гарвардский университет, США) исследовали особенности переработки мозгом информации при гипнозе; в частности, как реагирует мозг на обонятельные стимулы при гипнотическом внушении (полного отсутствия обоняния).

Предъявляя испытуемым запахи, а также звуки, исследователи регистрировали электрические потенциалы мозга, связанные с этими стимулами, — вызванные потенциалы. В состоянии гипноза звуки вызывали такие же электрические потенциалы, как и при бодрствовании. Вызванные потенциалы на запахи, вопреки ожиданию, не ослабевали, несмотря на отсутствие субъективного ощущения запаха. Более того, электропозитивная волна со скрытым периодом около 0,3 с в состоянии гипноза значительно увеличивалась. По многочисленным данным, эта волна тем больше, чем больше несоответствие — рассогласование между ожидаемой и фактической информацией, между внутренним «образом стимула» и реально поступающим стимулом. В контрольных опытах участвовали не поддающиеся гипнозу испытуе-

мые, получившие инструкцию симулировать состояние гипноза. Хотя они хорошо справились с этой задачей (гипнотизер не мог отличить их от реально загипнотизированных лиц), вызванные потенциалы на запахи у них не менялись по сравнению с обычным состоянием спокойного бодрствования.

Таким образом, при гипнотическом внушении анонимный мозг воспринимает сигналы, которые, казалось бы, воспринимать «не должен», а их обработка идет в структурах, не выходящих на уровень осознания (человек считает, что он не чувствует запаха). Какие-то мозговые механизмы фиксируют это противоречие, несоответствие между сознательным убеждением, что эта информация восприниматься не может, и тем фактом, что реально переработка этой информации происходит. Повышение амплитуды электропозитивной волны говорит о регистрации мозгом этого несоответствия.

Modern Trends in Hypnosis. Proceedings of 9th International Congress of Hypnosis and Psychosomatic Medicine. N. Y., 1985. P. 139—147 (США).

Микробиология

Дрожжи-убийцы

Впервые способность некоторых штаммов дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* убивать близкородственные организмы была обнаружена английскими исследователями Э. Бивзном и М. Мэковером в 1962 г.¹ Причиной гибели чувствительных дрожжевых клеток служит секретлируемый клетками-убийцами во внешнюю среду токсин белковой природы. Сами дрожжи-убийцы, а равно и так называемые «нейтральные» дрожжи устойчивы к действию токсина. На поверхности же чувствительных к токсину клеток имеются рецепторы, на кото-



Зона гибели чувствительных дрожжей вокруг штриха дрожжей-убийц на чашке Петри с питательной средой.

рые он действует. От чувствительных дрожжей можно получить устойчивые к токсину мутанты, у которых рецепторы отсутствуют.

Информация о синтезе токсина закодирована во внеядерной плазмидной нуклеиновой кислоте — дауспиральной РНК (дсРНК), упакованной в белковую капсулу. Инкапсулированная дсРНК фактически представляет собой вирус дрожжей, с той лишь особенностью, что он не вредит клетке-хозяину. За размножение дсРНК и образование токсина отвечают, по меньшей мере, 30 ядерных генов *S. cerevisiae*. Химическими или физическими агентами можно вызвать потерю клетками-убийцами вирусных частиц, превращая их тем самым в чувствительные клетки. Все эти особенности инкапсулированной дсРНК не позволяют отнести ее к какому-либо известному биологическому объекту: паразиту, симбионту или органелле клетки.

Недавно обобщено многолетнее исследование экологии дрожжей-убийц. Работа проводилась совместно сотрудниками ВНИИ генетики и селекции промышленных микроорганизмов Министерства микробиологической промышленности СССР (Москва) и ВНИИ виноделия и виноградарства Министерства пищевой промышленности СССР (Ялта). В ходе изучения популяций *S. cerevisiae* крымских винных заводов было обнаружено, что сусло в процессе

изготовления вина является специфической экологической нишей дрожжей-убийц. Удалось убедительно показать, что в виноградном сусле они убивают чувствительные клетки и обогащают вино продуктами распада дрожжей. Признак «убийца» определяет конкурентоспособность промышленных дрожжей.

Г. И. Наумов,
доктор биологических наук
Москва

Микробиология

Грибки очищают природную среду

Группа исследователей из отделения биохимии Университета штата Мичиган (США) во главе с С. Остом (S. Aust) предложила новый метод биодеградации галогенорганических соединений, таких, например, как печально известные ДДТ и диоксин. Обратив внимание на способность грибов белой гнили (*Phanerochaete chrysosporium*) разрушать сложный природный полимер — лигнин, а также продукты его хлорирования, они предположили, что некоторые вещества, имеющие сходный углеродный скелет молекулы, могут также служить субстратами для этих грибов. *Ph. chrysosporium* в условиях азотного голодания синтезирует внеклеточную H_2O_2 -зависимую ферментную систему, которая и разрушает лигнин по свободно-радикальному механизму.

Действительно, эксперименты с загрязняющими среду веществами, меченными изотопом ^{14}C в ароматическом кольце, показали, что данная культура грибов способна разрушать галогенированные ароматические кольца и дехлорировать алкилгалогениды. Все вещества окислялись с выделением $^{14}CO_2$ в течение 30-дневной инкубации. Было также установлено, что интенсивность окисления хлорорганических соединений возрастает более чем в два раза, если в среду добавить глюкозу. За период инкубации разлагалось 50—60 % ДДТ,

¹ Bevan E. A., Mäko-ver M.— Proc. Xlth Int. Congr. Genet. (Abstract), 1963, v. 1, p. 202—203.

и продукты его распада разрушались дальше.

Исследователи предположили, что одна и та же ферментная система ответственна за разрушение и лигнина, и галогенорганических соединений. Однако возможно, что в условиях азотного голодания синтезируются две различные ферментные системы. Известно, что органическая пища грибов представляет собой нерастворимые макромолекулярные комплексы, которые для усвоения должны быть вначале расщеплены на более мелкие составные части. Для этого грибки выделяют стабильные внеклеточные ферменты (протеазы, липазы, целлюлазы и др.), и поэтому многие загрязняющие вещества становятся более доступными для биодеградации.

Таким образом, система биологической обработки, включающая культуру *Ph. chrysosporium*, растущую при недостатке азота и в присутствии источника углеводов (глюкозы), может оказаться эффективным средством для разложения токсичных веществ, трудно поддающихся биодеградации.

Science. 1985. Vol. 228. P. 1434—1436 (США).

Биология

Яйцеклетки коров развиваются в яйцеводах крольчих

Незрелые яйцеклетки (ооциты) выбракованных по тем или иным причинам высокопродуктивных коров могут быть использованы для получения ценных в генетическом отношении эмбрионов с целью их последующей трансплантации. В связи с этим интенсивно разрабатываются методы культивирования ооцитов и способов их оплодотворения как вне, так и внутри организма других животных (овец, коз, крольчих).

К настоящему времени оплодотворение *in vitro* осуществлено почти у 20 видов млекопитающих. Накопленный опыт показывает, что успешная пересадка эмбрионов у коров

достигается лишь на определенных стадиях развития зародышей — бластоцисты или поздней морулы (только на этих стадиях возможны длительное хранение эмбрионов в замороженном состоянии и нехирургическая их пересадка в матку).

Интересные работы в связи с проблемой трансплантации эмбрионов ведутся на экспериментальной научно-исследовательской базе «Горки Ленинские» ВНИИ прикладной молекулярной биологии и генетики под руководством Л. К. Эрнста. Яичники коров после их убоя доставляли в лабораторию с мясокомбината в физиологическом растворе. Извлеченные механическим путем ооциты доращивали при определенных условиях до стадии зрелости либо *in vitro*, либо *in vivo* — в яйцеводах крольчих. Оплодотворение спермой быков также производили *in vitro* или прямо в яйцеводах крольчих. Оплодотворенные *in vitro* яйцеклетки через 24—48 часов пересаживали в яйцеводы крольчих. На 3—5-е сутки яйцеклетки извлекали вымыванием. Полученные зародыши подвергали цитологическому анализу. Оплодотворено было 27—25,6 % яйцеклеток. Стадии морулы на третий день культивирования достигало 4,5 % от общего числа дробящихся яйцеклеток, оплодотворенных *in vitro*, и 16,3 % — оплодотворенных *in vivo*. С увеличением срока культивирования до пяти суток выход морул повышался соответственно до 16,4 и 25 %. Таким образом, после оплодотворения ооцитов коров в яйцеводах крольчих эмбрионы быстрее, по сравнению с оплодотворением *in vitro*, достигают стадии морулы и более высокий их процент развивается нормально. (Использование вместо свежей спермы быков замороженной дало несколько худшие результаты.)

Аналогичные исследования ведут И. Л. Гольдман, Л. А. Истомина и В. А. Соловова во ВНИИ животноводства (пос. Дубровицы, Московской области).

Итак, в работах авторов показана принципиальная возможность оплодотворения ооцитов коров в яйцеводах кроль-

чих; для обеспечения высокого выхода нормальных эмбрионов необходимо дальнейшее совершенствование методов культивирования и способов оплодотворения ооцитов.

Доклады ВАСХНИЛ, 1985, № 10, с. 23—26; Сельскохозяйственная биология, 1985, № 9, с. 92—93.

Биология

Где ты, доктор Айболит!

Общепринято мнение, что переломы костей у диких животных, которые случаются нередко, хорошо излечиваются «силами природы», не приводя к серьезным осложнениям, влияющим на жизнеспособность животных. Так, еще в начале века при обследовании скелетов приматов, убитых охотниками, а также при изучении музейных коллекций обнаружено, что от 12 до 34 % скелетов имели сросшиеся переломы, причем значительную их часть составляли переломы длинных трубчатых костей конечностей. На основании этих данных был сделан вывод, что переломы хорошо излечивались сами собой.

Сотрудники Лондонского госпиталя К. Балстроуд, Дж. Кинг и Б. Роупер (С. Bulstrode, J. King, B. Roper) при повторном осмотре коллекций скелетов orangutanов и гиббонов в Кембридже и Цюрихе обнаружили, что большая часть переломов была получена животными в молодом возрасте, когда защита родичей и высокая активность процессов репарации костной ткани предоставляют животному больше шансов на выживание. Кроме того, животные, ставшие добычей охотников и попавшие в залы музеев, не могут быть отнесены к лучшей и наиболее здоровой части популяции.

При рассмотрении результатов наблюдения за группами приматов в природных условиях обнаружено, что среди молодых животных частота переломов крупных костей примерно в 11 раз выше, чем у взрослых особей, у которых пе-

реломы, как правило, ведут к гибели животного. По всей видимости, переломы крупных костей у взрослых животных случаются гораздо реже, чем это считалось ранее, а «силы природы» — не такое уж надежное средство лечения в данном случае.

Lancet. 1986. Vol. 1. № 8471. P. 29—31 (Великобритания).

Биология

«Брачные» взаимоотношения лесных завирушек

Лесная завирушка (*Prunella modularis*) — внешне весьма незрочная маленькая птичка, окрашенная в буроватые тона. Проводя наблюдения в природе, Н. Дэвис и А. Лундберг (N. Davies, A. Lundberg; ботанический сад Кембриджского университета, Великобритания), обнаруживали у этого вида удивительное разнообразие систем спаривания. Среди размножающихся лесных завирушек они выявили полигинные (несколько самок и один самец), полиандрические (несколько самцов и одна самка), промискуитетные (несколько самцов и несколько самок) и моногамные (один самец и одна самка) группы.

С января по март самцы устанавливают свои гнездовые территории и энергично защищают их друг от друга. Самки начинают занимать свои участки весной, причем охраняют их лишь в других самок. Границы территорий самок для самцов открыты, поэтому характер взаимного перекрестия участков обоих полов и будет указывать на систему их взаимоотношений. Если самка не вылетает за пределы территории одного самца, то такие птицы образуют моногамную пару. Иногда участок самки попадает на территории двух самцов, что приводит к полиандрии; в этом случае самцы сначала часто ссорятся, но постепенно один из них оказывается в подчиненном положении, их территории сливаются, а самец-доминант спаривается теперь с самкой чаще, чем его соперник. Когда разме-

ры участков нескольких самок настолько малы, что полностью умещаются на территории одного самца, имеет место полигиния. И, наконец, промискуитет встречается тогда, когда две или более территорий самцов сливаются с примыкающими участками двух или более самок.

В полиандрической и промискуитетной группах самцы не обязательно являются родственниками, в отличие от большинства подобных систем размножения, известных у птиц.

Очевидно, что характер взаимоотношений лесных завирушек в период гнездования зависит от размеров территорий самок. Что же определяет эти размеры? Как оказалось, основной фактор — наличие пищи. Лесные завирушки кормятся на земле мелкими семенами различных растений и беспозвоночными, собирая их на участках с плотным растительным покровом. В пределах ботанического сада Кембриджского университета, где проводились исследования, размер территории самки был обратно пропорционален локальной плотности таких участков. Исследователи имели возможность манипулировать размерами территорий самок, регулируя их обеспеченность кормом, и наблюдали происходящие при этом изменения во взаимоотношениях особей. Избыток пищевых ресурсов приводил к сокращению охраняемых самками участков, и самки часто монополизировались самцами. Происходило общее смещение в сторону от полиандрии: процент непарных самцов и полиандрических ассоциаций уменьшался, а удельный вес моногамных пар и промискуитетных ассоциаций быстро рос.

Nature, 1985, v. 313, № 5999, p. 180 (Великобритания).

Палеонтология

Вымершие бесчелюстные и формула Бернулли

Галеаспиды (группа мелких ископаемых бесчелюстных; к современным бесчелюстным относятся миноги и миксины)

известны только из отложений нижнего и среднего девона Китая — 410—370 млн лет назад. Эти животные обладали массивным плоским головным панцирем, на верхней поверхности которого располагалось крупное отверстие, называемое меднодорзальным. Функциональное назначение этого отверстия вот уже 20 лет — с момента открытия галеаспид — возбуждает интерес палеонтологов. Недавно М. Бель-Иль (M. Belles-Isles; лаборатория палеонтологии позвоночных Парижского университета VI) попробовал подойти к решению вопроса с точки зрения биомеханики.

В процессе жизнедеятельности многими животными «используется» формула Бернулли, определяющая количество жидкости (или газа) Q , проходящее через трубку радиуса r и длины L : $Q = \pi \Delta r g^4 / 8 \eta L$ (Δr — разница давлений между входным и выходным отверстиями, η — вязкостью жидкости). Поток можно изменить, меняя радиус и длину трубки. В качестве примера животных, использующих разницу давлений на входе и выходе полости организма, можно назвать беспозвоночных, питающихся путем фильтрации морской воды: губки, брюхоногие моллюски фиссуреллы, морские черви nereidy и брахиоподы. Или иной пример: сооружая норы и длинные ходы под землей, грызуны устраивают входные и выходные отверстия на разных уровнях — появляется

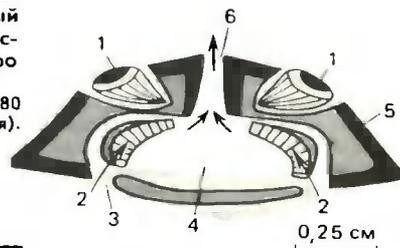


Схема вертикального сечения ископаемого галеаспидоморфа. Стрелками указано направление тока воды: 1 — глаза, 2 — жабры, 3 — жаберные отверстия, 4 — ротожаберная полость, 5 — панцирь, 6 — меднодорзальное отверстие. [По М. Бель-Илю, 1985.]

тяга, и животные не страдают от недостатка кислорода. Используя эту закономерность, вентилируют свои постройки и некоторые африканские термиты.

Основываясь на подобных примерах, автор предположил, что медиодорзальное отверстие, расположенное выше многочисленных мелких жаберных отверстий, служило для создания «водохода», позволявшего эффективно омывать жабры вертикальным током воды. Суммарная входная площадь жаберных отверстий превышала площадь выходного медиодорзального отверстия; разница давлений на входе и выходе не допускала обратного тока воды; кроме того, многочисленность жаберных отверстий, снижая скорость и давление входящего потока, уменьшала опасность повреждения жабр случайно попадавшими с водой твердыми частицами. Возникавшая циркуляция воды позволяла омывать жабры даже при очень небольшой скорости продвижения животного вперед.

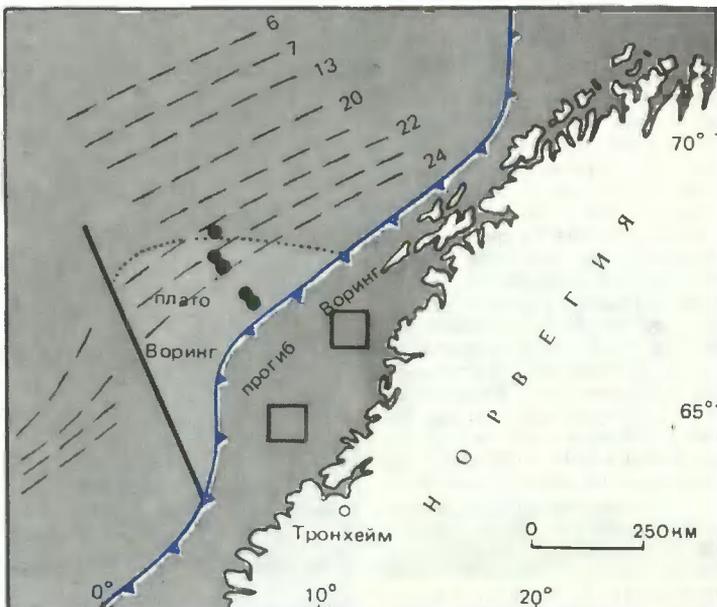
Для проверки своей гипотезы автор изготовил пластилиновую модель, которая погружалась в воду, причем у жаберных отверстий воду слегка подкрашивали. Скорости движения модели 5 см/с (0,18 км/ч) оказалось достаточно, чтобы конструкция заработала — появился вертикальный ток воды.

Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologische Monatshefte, 1985, В. 7, S. 385—394 (ФРГ).

Геотектоника

Строение океанической коры Норвежского моря

При поисках нефти и газа вблизи побережья Норвегии было проведено глубокое (до 4 км) морское бурение, составлены высокоточные сейсмические профили и детально изучен крупный осадочный прогиб Воринг, который со стороны континентальной суши резко обрывается разломами. Прогиб заполнен мезозойскими и кайнозойскими отложениями мощ-



Основные структуры юго-восточной окраины Норвежского моря.

-  Линейные магнитные аномалии, отражающие возраст пород
-  Граница между океанической и континентальной корой
-  Районы разведочного бурения
-  Глубоководные скважины «Гломара Челленджера»

ностью до 12 км; к северо-западу осадочная толща постепенно сокращается до первых сотен метров. Глубоководное бурение с «Гломара Челленджера» показало, что на обширном плато Воринг под осадочными слоями залегают базальты океанического облика. Полученные сведения важны для изучения истории формирования Норвежского и Гренландского морей.

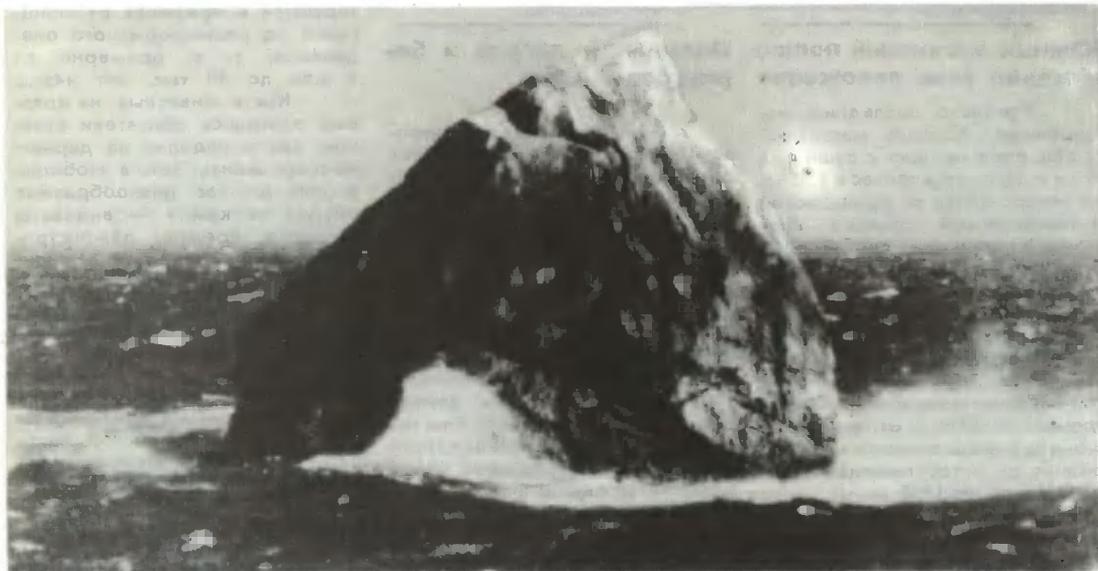
Согласно представлениям сторонников теории мобилизма, отделение Гренландии от Скандинавии и Шпицбергена и возникновение Норвежского и Гренландского морей в результате раздвига началось в ран-

нем кайнозое (60—58 млн лет назад) и продолжается до настоящего времени¹. По мнению американских исследователей, идеи мобилизма в этих северных акваториях хорошо подтверждаются магнитными аномалиями и абсолютным возрастом базальтов. Однако оказалось, что на плато Воринг развиты базальты не только палеогенового возраста, но и более древние — 100—180 млн лет².

Внутреннее строение плато Воринг весьма сложное. Выяснилось, что граница между континентальной и океанической корой не резкая по разлому, как предполагалось ранее, а постепенная. Наряду с кайнозойскими и мезозойскими эффузивами здесь присутствуют и слоистые породы, представленные, вероятно, осадочными и туфогенными образованиями,

¹ Talwani M., Eldholm O. // Bull. Geol. Soc. America. 1977. Vol. 88. № 7. P. 969.

² Mutter J. C. // Bull. Geol. Soc. America. 1985. Vol. 95. № 10. P. 1135; Bukovics Ch., Ziegler P. A. // Marine and petrol. Geol. 1985. Vol. 2. № 1. P. 2.



Остров Роколл. Эта одинокая гранитная скала, возвышающаяся на 22 м над ур. м., служит ключом к истории Атлантического океана.

Джордж-Блай, Лузи и Билл-Бейлис, над которыми глубина моря не превышает 500 м. С северо-востока границей прогиба служит подводный хребет Уайвилл-Томсон и Фарерская банка. К востоку от прогиба расположены банка Поркьюпайн, Малинский и Гебридский шельфы, а вдоль западной его окраины на 600 км протянулся подводный хребет Фени, представляющий собой гряду осадочных пород мощностью до 500 м. Ныне установлено, что эта гряда возникла в результате продолжающегося с эпохи олигоцена «переливания» через Уайвилл-Томсон холодных вод Норвежского моря, приносящих с собой осадочные породы. В итоге хребет Фени как бы очерчивает контуры Роколльского плато.

В Роколлском бассейне смешиваются воды разного происхождения: верхний 600-метровый слой простирается из Бискайского залива; на горизонтах от 800 до 1200 м имеется слой с высокой соленостью и малым содержанием кислорода, поступающий из Средиземного моря или района Гибралтарского про-

лива; до глубины 2000 м отмечаются весьма соленые и насыщенные кислородом воды лабдорского происхождения; наконец, еще глубже проходит Северо-Восточное Атлантическое глубинное течение.

New Scientist, 1985, v. 106, № 1464, p. 50—54 (Великобритания).

Геология

**Минеральные ресурсы
подводного
Лорд-Хау**

Современная научная программа, разработанная Государственным комитетом наук о Земле и сырье (ФРГ) и Бюро минеральных ресурсов Департамента ресурсов и энергетики (Австралия), предусматривает изучение геологии и минеральных ресурсов океанического дна. В трех рейсах научно-исследовательского судна ФРГ «Зонне» ученые Австралии и ФРГ сделали ряд крупных открытий в областях океана, простирающихся на восток от Австралийского материка.

На подводном хребте Лорд-Хау, между 31° и 35° ю. ш., обнаружены металлонесные

осадки, богатые железом, марганцем, никелем, медью, кобальтом. Толстые, до 20 см, плотные корки металлонесных осадков покрывают на глубине порядка 1700 м значительные площади дна океана. Ученые предполагают, что их происхождение связано с гидротермальными источниками. Ввиду значительной глубины залегания сейчас еще трудно определить их экономическое значение и перспективы добычи.

Пробы, взятые со дна океана к западу от Тасмании, указывают на присутствие в осадочной толще больших объемов газообразных нефтеуглеводородов. Геохимические анализы, проведенные в судовых лабораториях, показали повышенное содержание в пробах метана. Из полученных данных делается вывод, что в донных осадках идет процесс образования нефти.

В 1985 г. с борта австралийского научно-исследовательского судна «Риг Сейсмик» был обнаружен в районе хребта Лорд-Хау обширный осадочный бассейн, перспективный для поиска нефти. Подобный же бассейн, но расположенный несколько севернее, был найден и во время одного из рейсов «Зонне».

The Nautical Magazine, 1985, Vol. 224, № 4. P. 240—241 (Великобритания).

Геофизика

Южный магнитный полюс изменил свое положение

Согласно последним измерениям, Южный магнитный полюс переместился с суши под воду и находится сейчас в 150 км на северо-запад от французской антарктической станции Дюмон-д'Юрвиль, в прибрежной зоне океана. За 30 лет, как рассчитали геофизики из австралийского Бюро минеральных ресурсов, геологии и геофизики при Департаменте ресурсов и энергетики, Южный магнитный полюс передвинулся приблизительно на 300 км от его положения, определенного на австралийской антарктической станции Моусон в 1955 г.

Первым установил положение Южного магнитного полюса австралийский ученый Д. Моусон, когда в 1907—1909 гг. был участником Британской антарктической экспедиции под руководством Э. Шеклтона¹. На 16 января 1909 г. его координаты были: 72°25' ю. ш., 155°16' в. д.

Точное измерение координат магнитного полюса важно для навигации, особенно высокоширотной. О новом его местоположении объявляется каждые пять лет на заседаниях Международной ассоциации по геомагнетизму; очередное предполагается провести в Гамбурге.

Причина перемещений магнитного полюса неизвестна, но есть основания считать, что вызваны они колебаниями электрических токов во внешней оболочке земного ядра.

The Nautical Magazine. 1985. Vol. 234. №4. P. 241 (Великобритания).

Метеорология

Полыньи и погода в Беринговом море

В паковых льдах Берингова моря около о. Св. Лаврентия обнаружено пространство чистой воды площадью примерно 5000 км², которое существует, по-видимому, непостоянно.

К. Пиз (С. Pease; Национальное управление США по изучению океана и атмосферы — НОАА) считает, что открытые воды в паковом льду (по Международной номенклатуре льдов — полыньи) служат в крайне холодных областях океана источниками тепла, причем тепло, поступающее через полынью из океана в атмосферу, формирует не только местные погодные условия, но и, возможно, сказывается на погоде более отдаленных частей моря.

Для уточнения этого вопроса специалисты НОАА во главе с К. Пизом установили на льду и на морском дне у о. Св. Лаврентия измерительные приборы. Наблюдения ведутся также с борта научно-исследовательского судна; полученная информация дополняется данными с метеорологических спутников НОАА. Предпринятые исследования должны открыть путь к разработке надежных прогнозов в этой части Берингова моря.

Bulletin of the American Meteorological Society, 1985, v. 66, № 6, p. 705—706 (США).

Археология

Начало заселения человеком территории СССР

Постоянно действующая палеолитическая экспедиция Института зоологии АН УССР обнаружила в Закарпатье, близ пос. Королево, многослойное поселение древнекаменного века. В двенадцатиметровой толще суглинков удалось проследить 15 культурных горизонтов — остатки стоянок архантропов, палеоантропов и неоантропов. Различными методами они да-

тируются в пределах от гюнцского до ранневюрмского оледенения, т. е. примерно от 1 млн до 40 тыс. лет назад.

Кости животных, на которых охотились обитатели стоянок, как и изделия из дерева, не сохранились. Зато в изобилии дошли до нас разнообразные орудия из камня — андезита, кварцита, кремня, демонстрирующие от горизонта к горизонту поступательное развитие первобытной техники. В нижнем культурном горизонте, относящемся ко времени около 1 млн лет назад, найдены примитивные каменные изделия, являющиеся самыми древними на территории Европейской части СССР. Это так называемые нуклеусы (или ядрища), с которых скалывались плоские фрагменты — отщепы и пластины; сами отщепы и пластины, служившие ножами для разделки туш убитых животных; грубые рубящие орудия, употреблявшиеся при обработке дерева. Костных останков человека, их изготовившего, не обнаружено, однако, по аналогии с близкими по своему облику каменными орудиями, найденными в Африке в совместном залегании с костями человека, можно полагать, что им был ранний архантроп, или *Homo erectus* (человек прямоходящий), — существо, уже владевшее огнем и в своем физическом и умственном развитии ушедшее далеко вперед по сравнению с непосредственным предком — *H. habilis* (человеком умелым), жившим около 2 млн лет назад.

Орудия труда, близкие по возрасту найденным в Королево, обнаружены в Советском Союзе еще в двух пунктах: в Азыжской пещере (Азербайджан) и близ селения Кульдара (Таджикистан). Три этих памятника — древнейшие на сегодня следы первобытного человека на территории нашей страны, они фиксируют время начала ее освоения людьми — около 1 млн лет назад.

В. Н. Гладиллин,
кандидат исторических наук
Киев

¹ Подробнее см.: Суэзов Е. М. Дуглас Моусон и Антарктика. Л., 1970. С. 36. Об изменении местонахождения Северного магнитного полюса см.: Магнитный полюс переместился // Природа. 1985. № 12. С. 111.

Вспоминая Александра Павловича Виноградова...

Академик Л. В. Таусон
Иркутск



Л. Маркелова. ПОЗНАНИЕ МИРА. М.: Моск. рабочий, 1985, 255 с.

В августе 1985 г. исполнилось 90 лет со дня рождения выдающегося советского ученого академика Александра Павловича Виноградова. С этой знаменательной датой счастливо совпал выход в свет книги Ларисы Павловны Маркеловой, долгие годы знавшей Александра Павловича и сумевшей в небольшом по объему произведении научной журналистики показать мир этого замечательного ученого и человека.

Автору удалось очень верно отобразить основные черты характера и творчества Ви-

ноградова и сформировать в сознании читателей совершенно, с моей точки зрения, правильное представление о нем как об ученом энциклопедического склада.

Ученик великого натуралиста В. И. Вернадского, Александр Павлович внес огромный вклад в развитие современного естествознания, охватив своими исследованиями самые различные его области. В 1935 г. за работы по изучению химического элементарного состава морских организмов ему была присвоена ученая степень доктора химических наук. Почти одновременно он начал свои исследования по геохимии изотопов, за что еще в 1934 г. одним из первых был удостоен премии им. В. И. Ленина. В дальнейшем он сосредоточил свое внимание на изучении геохимии редких элементов в почвах и за монографию по этой теме в 1951 г. был удостоен Государственной премии СССР.

В 50-х годах внимание Виноградова сосредоточивается на геохимии земных пород. Как бы подводя итог исследованиям выдающихся геохимиков первой половины XX в., он в 1962 г. публикует в созданном им журнале «Геохимия» знаменитую работу «Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры», не потерявшую своего значения до сих пор. Почти одновременно Александром Павловичем предлагается интереснейшая гипотеза, объясняющая механизм селективного плавления мантийного вещества — главного процесса генерации базальтоидных магм Земли. Этот механизм «зонной плавки» в дальнейшем интенсивно разрабатывался учениками Виноградова.

В конце жизни он уделяет главное внимание проблемам

космохимии, химизму лунных пород. А незадолго до кончины выступает с одной из своих самых блестящих идей — о гетерогенной аккреции Земли, — дающей наиболее правдоподобное объяснение условий образования металлического ядра нашей планеты.

Даже предельно краткое перечисление научных проблем, которые разрабатывал Виноградов, показывает его поистине энциклопедическую широту. При подготовке своих журнальных статей, не говоря уже о монографиях, Александр Павлович использовал сотни литературных источников. Этот известный мне факт может служить дополнительным штрихом к тому портрету великого труженика науки, который хорошо показан в книге Л. П. Маркеловой. Широта научных интересов Виноградова определялась с одной стороны, его личными качествами и принадлежностью к школе Вернадского, а с другой — особенностями геохимии, которой Александр Павлович служил так преданно.

Геохимия (в современном понимании) изучает законы рассеяния, миграции и концентрирования атомов химических элементов, а также химию процессов, протекающих на поверхности Земли и в ее недрах. Так что интересы геохимии распространяются на все вещества нашей планеты и все процессы, происходящие в ней.

Л. П. Маркелова ярко рассказала о днях молодости Александра Павловича и о той гигантской работе, которую он вел в последний период своей жизни. Однако в книге не нашли достаточно полного отражения его исследования, посвященные геохимии земных пород, которые по времени совпали с формированием геохимического отдела только что органи-

зованного Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР (ГЕОХИ), к работе в котором Виноградов привлек известных геохимиков (Н. И. Хитарова, В. В. Щербину, В. И. Герасимовского, А. Б. Ронова) и молодежь. Это были первые аспиранты-геохимики Виноградова (А. И. Тугаринов, Л. В. Таусон), а также группа талантливых выпускников Московского геолого-разведочного института (В. Л. Барсуков, А. С. Павленко, Л. В. Дмитриев, Викт. Л. Барсуков, Г. Б. Наумов и др.).

Пристальный интерес Александра Павловича к проблемам геохимии пород проявился еще в 1948 г., когда он собрал первый семинар геохимиков для обсуждения проблем гранитов, на который пригласил А. А. Саукова, К. А. Власова, В. С. Коптева-Дворникова, В. В. Щербину, В. И. Герасимовского и др. Александр Павлович попросил присутствующих изложить мнения по вопросу: «В каких случаях гранит дает руду?». Естественно, что ответы были весьма приблизительными, так как в те годы этой важнейшей проблемой геологии серьезно никто не занимался. Шли жаркие споры о происхождении гранитов, а в отношении их рудоносности бытовала неверная точка зрения, что потенциально рудоносные граниты должны быть обогащены теми рудными элементами, месторождения которых связаны с ними генетически. В дальнейшем эти ошибочные представления нашли отражение в теории металлогенической специализации магм, которая получила широкое распространение в 60-х годах.

Еще большее значение для развития геохимии магматических пород имел международный симпозиум по проблеме «Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенезиса», организованный Виноградовым в конце 1957 г.

Кроме крупнейших советских геохимиков во главе с Виноградовым, Н. В. Беловым и Д. С. Коржинским, в нем приняли участие такие видные зарубежные ученые, как Л. Х. Арэнс, Э. Ингерсон, Е. Седэки-Кардош, К. Смуликовский, М. Савул и др. Откры-

тая симпозиум, Виноградов предложил сосредоточить внимание на обсуждении идеи: «Не могут ли редкие и рассеянные химические элементы являться индикаторами петрогенезиса?». А в заключительном слове указал на две взаимозависимые проблемы: одна из них — геохимия редких элементов в связи с петрогенезисом, а другая — геохимия редких элементов в свете отношений руды и породы.

«Мы в самом начале нового пути», — сказал тогда Виноградов, оценивая состояние дел в этом важнейшем направлении геохимии. Автору этих строк пришлось идти по этому пути более 30 лет, прежде чем удалось произвести геохимическую типизацию гранитоидов, установить факторы их потенциальной рудоносности и показать первостепенное значение редких элементов для распознавания геохимических типов гранитоидов и условий их образования. Полученные результаты показали, как был прав Виноградов, обращая внимание геохимиков мира на эту проблему и на необходимость ее быстрейшего решения.

Вторым важнейшим направлением в геохимических исследованиях Виноградова в те годы являлись его совместные с А. Б. Роновым и В. Е. Хаиним исследования по геохимии осадочных пород, одним из важнейших итогов которых стал атлас литологических формаций. Итоги этих исследований были не так давно обобщены А. Б. Роновым в его превосходной книге «Осадочная оболочка Земли (количественные закономерности строения, состава и эволюции)» (М., 1980). Своего рода заключением в исследованиях Виноградова по геохимии магматических и осадочных пород явились две его известные работы «Химическая эволюция Земли» и «Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры».

Наконец, третьим важнейшим направлением геохимических исследований Виноградова были работы по геохимии радиоактивных и стабильных изотопов, которые он проводил вместе с ближайшими учениками: А. И. Тугариновым, Е. И. Дон-

цовой, Р. В. Тейс, Э. М. Галимовым и др. Развитие всех этих направлений говорит не только о широте интересов и колоссальной работоспособности Виноградова, но также и о глубоком понимании государственной значимости своих дел и исключительном внимании к организации научных исследований на различных уровнях.

В этом отношении Виноградов также был достойным учеником своего великого учителя — Вернадского, который стоял у истоков организации Академии наук УССР, Радиевого института, Лаборатории биогеохимических проблем АН СССР, Комиссии по изучению естественных производительных сил (КЕПС) и т. д.

Виноградов проделал огромную работу по созданию в 1947 г. на базе руководимой им Лаборатории геохимических проблем АН СССР Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР, награжденного впоследствии орденами Ленина и Октябрьской Революции. Вместе с тем в 50-х годах он организовал в Московском университете кафедру геохимии, где до конца своих дней читал основную курс геохимии. Наконец, в 60-х годах он (вместе с автором этих строк) приступил к формированию Института геохимии Сибирского отделения АН СССР, который теперь носит его имя и стал вторым геохимическим центром страны. При деятельном участии Александра Павловича появилась на свет Международная ассоциация геохимии и космохимии, избравшая его своим почетным президентом. Словом, в значительной мере благодаря его усилиям советская геохимия интенсивно развивалась в послевоенные годы и вышла на самые передовые в мире рубежи.

Когда советские ученые под руководством И. В. Курчатова создавали так называемый «ядерный щит», необходимый для мирной жизни страны, Виноградов в кратчайшие сроки создал для этих работ аналитическую базу и руководил многочисленными коллективами химиков-аналитиков, решавшими сложнейшие химические проб-

лемы. За эти работы он был удостоен Государственной премии СССР и звания Героя Социалистического Труда.

Оценивая необходимые качества руководителя академии наук, М. В. Ломоносов указал, что он должен быть, с одной стороны, «достаточен» в своей науке, а с другой — «общевникателен». Широта кругозора, прирожденная любознательность Александра Павловича и специфичность геохимии создали в его лице прекрасного организатора науки. Будучи вице-президентом Академии наук СССР и ведая науками о Земле, он моментально входил в существо возникавших проблем и умел быстро найти то главное звено, которое определяло наиболее эффективное их решение.

Виноградов раньше других улавливал проблемы, которые предстояло безотлагательно решать, и старался привлечь к ним внимание научной общественности. Сейчас мы понимаем, насколько своевременна была, например, его тревога по поводу растущего загрязнения биосферы, о чем он во весь голос начал говорить в 1973 г.

Как истинный русский интеллигент, Александр Павлович всегда был очень доброжелателен и внимателен к людям. Если у любого его сотрудника — будь то доктор наук или лаборант — случалась беда, он немедленно и действительно приходил на помощь. Эти качества снискали ему глубокое уважение и любовь людей, соприкасавшихся с ним на жизненном пути. В книге Л. П. Маркеловой эти человеческие качества раскрыты с глубиной, показывающей, что автор книги испытала на себе обаяние и влияние его личности так же сильно, как и ученики Александра Павловича, считающие его учителем не только в науке, но и в жизни.

Большое видится на расстоянии. И сейчас, спустя более десяти лет после ухода Александра Павловича из жизни, многие дела его осознаются по-новому. Хочется пожелать Л. П. Маркеловой создать еще одно, более полное жизнеописание Виноградова, на примере которого научная молодежь может учиться служению науке и Родине.

Происхождение жизни на Земле: современные задачи по изучению проблемы

Г. А. Заварзин,
член-корреспондент АН СССР
Москва



SEARCH FOR THE UNIVERSAL ANCESTORS / Ed. by H. Hartman, J. G. Lawless, F. Morrison. Washington: NASA, 1985. 129 p. (Поиск общих предков. Под ред. Х. Хартмана, Дж. Г. Лоулесса, Ф. Моррисона. Вашингтон: НАСА, 1985. 129 с.)

Национальное агентство по аэронавтике и космическим исследованиям США (НАСА) выпустило небольшую популярную книгу, посвященную основным задачам, решению которых должно приблизить ученых к пониманию того, как на Земле возникла жизнь. Цель этого издания — сформулировать предполагаемую программу исследований, ознакомить с этим проектом по возможности более широкий круг лиц и добиться его финансирования. Но значение книги выходит за пределы ее утилитарного замысла. И прежде всего потому, что она представляет собой результат совещания 28 выдающихся экспертов, в списке которых первым по алфавиту стоит М. Кальвин

(M. Calvin), установивший цикл автотрофной ассимиляции углекислоты, а завершает список К. Вёзе (C. Woese) — открыватель архебактерий.

Проблема происхождения жизни, безусловно, важна, — пишет во вступлении к книге один из ее редакторов Ф. Моррисон, — поскольку никакая другая проблема не способна дать человечеству больше для понимания своего места в мире. Проблема междисциплинарна и требует многостороннего подхода, поэтому в рецензируемом издании она освещена с позиций разных наук: молекулярной биологии и сравнительной планетологии, геологии и биорганехими.

Книга разбита на 6 глав: 1. К происхождению жизни; 2. Происхождение жизни: краткая история поисков; 3. Две летописи: в породах и в клетках; 4. Природные доказательства; 5. Лабораторные эксперименты; 6. Рекомендации.

У истоков истории проблемы происхождения жизни стоит А. И. Опарин, который начал ее исследования молодым ученым, в 1924 г., и продолжал всю свою жизнь. Отметим этот факт, авторы обращают внимание на события более давнего времени. Они вспоминают письмо Ч. Дарвина 1871 г. (адресованное Дж. Гукеру), в котором он утверждает, что предварительным условием для поисков пути зарождения жизни является обнаружение мест, где жизни нет. Это предварительное условие, по мнению авторов, совершенно ультимативно как в логическом, так и в экспериментальном плане.

С 1860 г., т. е. начиная с опытов Л. Пастера, доказавших невозможность самозарождения даже бактерий, стали невозможны и легкие эволюционные построения, объяснявшие появление всего многообразия живого мира из спонтанно зародившегося примитивного организма. Взамен этой логически удобной концепции пришли сложные построения химической эволюции.

Начало экспериментальной проверки построений А. И. Опарина и его единомышленников Дж. Холдейна и

Дж. Бернала относится к 1957 г. Тогда же на симпозиуме в Москве С. Миллер, аспирант Г. Юри, доложил о своих успешных опытах по синтезу аминокислот под действием электрического разряда. Согласно взглядам Опарина — Миллера — Юри, на Земле была сильно восстановительная атмосфера из метана, аммония, воды. Вопрос стоял о возможном источнике энергии для синтеза: электрическом разряде или коротковолновом ультрафиолете. Современная модификация этого варианта предполагает атмосферу из метана, азота, меньшего количества водорода и следов аммиака и воды. При этой атмосфере получается еще большее разнообразие продуктов.

В книге рассматриваются также различные атмосферные условия; реконструируемые методами геохимии. Поскольку геохимии сомневаются в возможности существования сильно восстановленной атмосферы на ранних этапах существования Земли, последующее моделирование проводили в атмосфере, близкой по составу к газобразным вулканическим выделениям. Авторы констатируют, что в атмосфере, лишенной метана, электрический разряд оказался малоэффективным, хотя в присутствии CO обнаруживается абиогенный синтез многих органических соединений.

Если же атмосфера ранней Земли состояла из углекислоты, азота, воды, то для синтеза органических веществ необходим внешний восстановитель. В качестве такого восстановителя предполагается железо, но это предположение влетает за собой совершенно иную среду абиогенного синтеза органических веществ, чем атмосфера. В нейтральной же атмосфере синтеза Миллера — Юри не идут.

Возможность синтеза органических соединений без участия живых существ на Земле и в космосе может считаться определенно доказанной, хотя детали процесса далеко не всегда ясны. Но суть проблемы не в этом. Вопрос происхождения жизни не может быть подменен вопросом происхождения органических веществ. Поэтому пос-

ле долгих обсуждений в общем второстепенных вопросов авторы вынуждены обратиться к существу проблемы, сформулировав его на с. 123: какова простейшая химическая система, способная к полному генетическому самовоспроизведению и дарвиновской эволюции?

Авторы усматривают три экспериментальные системы, которые могли бы дать ответ на этот вопрос: 1) неэнзиматическое самовоспроизведение нуклеиновых кислот; 2) репликация на глинах или иных неорганических матрицах; 3) комбинированные системы из белка и нуклеиновых кислот. Пока ни одна из этих систем не показала в экспериментальных условиях способности к самовоспроизведению. Поэтому другой возможный путь для демонстрации самовоспроизведения и естественного отбора авторы видят в попытке конструировать минимальную самовоспроизводящую систему из компонентов живой клетки. Это стоило бы сделать, потому что такой эксперимент заполнил бы большую концептуальную пропасть между простой самовоспроизводящей системой и сложной генетической системой даже простейшей клетки.

Если перевести вышеизложенное на простой язык, то критическим экспериментом было бы самозарождение простой бактериальной клетки, например микоплазмы, из неклеточных остатков.

В связи с тем, что здесь сказано, рецензенту на память невольно приходит популярная книжка С. П. Костычева «О появлении жизни на Земле», вышедшая в «Библиотеке натуралиста» в издательстве А. С. Панафиной в 1913 г. (Спб.), где на с. 41—42 Костычев писал: «Интересно все же, почему так трудно искоренить веру в самозарождение, между тем как в других случаях экспериментально установленные факты всегда принимались без дальнейших возражений? Причина этого кроется в том, что при помощи самозарождения можно было бы просто и понятно разъяснить происхождение жизни на Земле, между тем как с опровержением теории самозарождения

начало жизни покрывается глубокой тайной. Так как всеми признанная теория эволюции вполне удовлетворительно объясняет изменчивость организмов и их прогрессивное развитие, то стоит только разъяснить происхождение какого-нибудь простейшего микроба, и тогда появление более сложного организованного существа становится логически понятным. Но именно здесь между живым и мертвым оказывается непроходимая пропасть. (...) По отношению к настоящему времени гипотеза самозарождения оказалась несостоятельной; можно ли, однако, утверждать это и по отношению к прошлому нашей планеты? Некоторые ученые склоняются, действительно, к такому мнению, что в прежние геологические эпохи физические и химические условия на земной поверхности очень сильно отличались от тех, свидетелями которых мы являемся, а потому тогда могло быть возможным и самозарождение. (...) Легко вообразить себе такие условия, при которых могли бы в природе образоваться белки и другие органические вещества, входящие в состав тела живых существ, но почти немислимо понять случайное построение даже простейшего организма из этих материалов».

Сопоставляя краткое изложение линии исследований, предложенной американскими учеными для 1990-х гг., с рассуждениями Костычева, далеко не в полной мере представлявшего себе сложность организации простейшего существа, какой мы знаем ее сейчас, невольно задаешься вопросом: а был ли реальный прогресс в этом направлении, если по-прежнему обсуждается возможность самозарождения (наверное, лучше сказать «самосборки») живого из неживых частей его?

О существовании такого прогресса убедительно говорят данные главы «Два летописи: в породах и клетках». Достижения последних лет в изучении древнейших периодов существования Земли изложены кратко и убедительно. Если каждая отдельная находка древнейших следов жизни и допускает сомнения, то в сумме выводы из

этих данных представляются бесспорными: жизнь началась гораздо раньше, чем предполагали еще недавно. Можно сказать более того: пока не найдены бесспорные свидетельства отсутствия жизни на всем протяжении обозреваемой геологической истории. Классическая фаза фанерозоя (до 0,6 млрд лет назад) дала основной материал для палеонтологического доказательства эволюционного процесса. Протерозой (до 2,5 млрд лет назад) содержит сотни остатков строматолитов, несомненно биогенных, но очень редко включающих микрофоссилии. Для этого периода известно уже около 150 мест находок микрофоссилий. Наконец, известно 7—8 находок строматолитов в архее (2,5—3,5 млрд лет назад). Древнейшие признанные микрофоссилии из Варавуна в Западной Австралии представлены довольно крупными трихомными микроорганизмами, похожими по морфологии на современные синезеленые водоросли (или другие трихомные организмы).

Авторы рецензируемого издания уклонились от обсуждения геохимических свидетельств в пользу развития жизни. Тем не менее все имеющиеся данные устанавливают жесткие временные рамки для процессов далекого прошлого: происхождение жизни и ее эволюция до довольно сложных морфологических прокариот должны были иметь место ранее, чем 3,5 млрд лет назад.

Время между формированием Земли как твердой дифференцированной планеты и древнейших известных пород составляет 0,5 млрд лет. Этот этап освещает сравнительная планетология, которая быстро пополняется все новыми сведениями. Однако до того, как перейти к ним, следует оценить само многообразие организмов, прежде всего наиболее простых. Ранее отношения между ними устанавливались произвольно. Развитие «молекулярной палеонтологии» на основе сравнения последовательности мономеров в нуклеиновых кислотах и белках дало обильный новый материал для суждения об отношениях между ныне существующими организмами. «Мы

можем проследить отношения в группе организмов вплоть до общего предка всей группы сотни миллионов или даже миллиардов лет назад», — утверждают авторы (с. 34).

Весь обильный материал по этой теме изложен на пяти страницах. Прежде всего доказывается, что должны были существовать три мало связанные между собой или весьма отдаленные одна от другой генетические группы: 1) истинные бактерии, 2) архебактерии, 3) «уркариоты» — часть, соответствующая цитоплазме эвкариотных организмов. Комбинация их и дала эвкариотные организмы. Далее, считается доказанным, что бесцветные истинные бактерии многократно возникали из фотосинтезирующих. Это значит, что первоначальные организмы были автотрофы. Являясь наиболее прямым методом определения родства между организмами, методы молекулярной биологии все же не несут абсолютной характеристики, связанной со временем, они зависят от темпа изменений. Таким образом, для поисков общего предка, как следует из достижений молекулярной биологии, нужно сначала обнаружить предков по меньшей мере трех различных групп организмов в первый миллиард лет существования Земли.

На нынешнем этапе наших знаний только сравнительная планетология может заполнить промежутки времени от возникновения Земли до примерно 3,8 млрд лет назад. Исследования космического пространства дали сведения о химическом составе, массе и распределении облаков межзвездной пыли, послужившей материалом для возникновения Солнца и Солнечной системы около 4,6 млрд лет назад. В межзвездном пространстве обнаружено много достаточно сложных органических соединений. Взгляды на формирование Солнечной системы со временем менялись. Сейчас наибольшим признанием пользуется сценарий, который включает формирование протосолнечной туманности в виде вращающегося диска пыли и газа, из которой под действием гравитационных сил возникли Солнце и планеты. Градиент температур в

диске достигал 1300° (около 300°С там, где формировалась Земля). Где вклад в образование планет внесли и малые небесные тела. Особенно интересны кометы, которые могут быть ответственны по крайней мере за часть атмосферы планет земной группы. Метеориты могли доставлять глины, сложные органические соединения, включая гетероциклы.

Ключевым вопросом является состав древней атмосферы Земли. Первоначально для его решения в качестве маркера пытались использовать показатель обилия благородных газов, прежде всего неона, но данные анализа убеждают, что фракционирование газов произошло до формирования планет. Сейчас единственная надежда обосновать существование у древней Земли восстановительной атмосферы основывается на процессе дегазации либо при разогреве, либо при метеоритной бомбардировке. Хотя восстановительная атмосфера и не может быть полностью исключена, более вероятной представляется атмосфера из смеси азота, углекислоты, окиси углерода, воды, немногих процентов водорода.

Главная же трудность заключается в том, как объяснить разницу в атмосферах Марса, Земли, Венеры, допуская общность их происхождения. Основная линия аргументации сводится к оценке расстояния от Солнца, размерам планет и построению соответствующих моделей. Вместе с тем имеются недостаточные веские основания полагать, что миллиарды лет назад Земля находилась в ином положении как планета: орбита ее изменилась на 15%, а солнечная радиация возросла примерно на треть. Как видно, первый миллиард лет существования Земли остается еще в сфере предположений и не дает твердой исходной точки для описания условий существования общего предка.

Книга заканчивается серией вопросов, и главный из них: каким был универсальный общий предок? Другие вопросы таковы: на какой стадии эволюции существовало единство? было оно допрокариотным? почему был общий предок? было ли это вследствие случая? было ли это

необходимостью? каковы основы различия между тремя главными линиями потомков?

Написанная выдающимися учеными, кратко и принципиально, в форме, доступной широкому читателю, книга не скрывает противоречий и вопросов;

напротив, она ставит их. Этим она противопоставляется безудержному потоку популяризации и спекуляций, уверенный тон которых скрывает их в конечном счете дезинформирующую сущность. Да, действительно, последние десятилетия дали

очень многое в познании прошлого Земли, но в поисках общего предка мы только приближаемся к пониманию всей сложности проблемы и ограничений, лежащих на пути ее решения.

Книгу, конечно, следовало бы издать на русском языке.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

Ш. Ш. Ибрагимов, В. В. Кирсанов, Ю. С. Пятилетов. РАДИАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ. М.: Энергоатомиздат, 1985. 240 с. Ц. 3 р.

Человечество давно привыкло к мысли, что нет ничего более надежного, чем металлы. Самые сложные конструкции, такие как Эйфелева башня и современные супертанкеры, сооружались и сооружаются из металлов и их сплавов. Естественно, что и при создании атомных и термоядерных реакторов конструкторы обратились в первую очередь к этим испытанным временем и символизирующим устойчивость материалам. Но при воздействии мощных потоков излучения они повели себя странным образом. Стали меняться почти все их физические свойства, начиная с электропроводности и кончая механическими характеристиками. В ряде случаев облученные металлы повели себя вообще непредсказуемо. Так, в реакторах на быстрых нейтронах металлические конструкции распухали, причем изменение объема достигало нескольких процентов. Иногда облучаемые металлы становятся прочнее или, наоборот, более хрупкими, «ползут» под нагрузкой или меняют свой фазово-структурный состав. Этот перечень странностей металлов и сплавов под действием разных видов излучений нетрудно продолжить. В целом всю совокупность этих процессов принято сейчас называть радиационным повреждением.

Каким образом развивается радиационное повреждение? Что происходит в облучаемых металлах на атомном уровне? Каковы основные закономерности изменения свойств ма-

териалов и сплавов? Ответы на эти вопросы можно найти в книге «Радиационные повреждения металлов и сплавов». Написанная ясным языком, доступная людям, знакомым с основами физики твердого тела, она последовательно знакомит читателя с природой процессов, происходящих в металлах и сплавах при попадании в них бомбардирующих частиц излучения.

Изложение предваряется кратким описанием условий «работы» металлических материалов в современных атомных энергетических установках. Дальнейшее построение книги отражает, насколько это возможно, хронологический ход процессов повреждения: от образования в кристаллической решетке металлов так называемых радиационных дефектов до изменения того или иного физического свойства.

Книга в известном смысле вооружает читателя, ибо ему еще не раз доведется услышать о новых физических явлениях в облучаемых материалах — ведь развитие атомной энергетики, повышение мощности ядерных реакторов, создание установок термоядерного синтеза делает необходимым углубленное изучение и разработку материалов, противостоящих, а возможно, и приспособляющихся к новым, необычным условиям.

Биология

авторами весьма просто — так, как это возможно только при глубоком понимании рассматриваемых явлений. Доходчивости текста способствует удачное построение книги. Вводная глава популярно излагает основные положения биоакустики, сведения о распространении звука в разных средах, принципы эхолокации и т. п. Здесь же авторы касаются дискуссионных вопросов о смысловой нагрузке звуковых сигналов и их роли в формировании иерархической структуры среди животных. Читая книгу далее, мы совершаем путешествие в различные природно-климатические зоны, знакомимся с животными лесов, пустынь, морских побережий и даже пещер.

Авторы рассматривают акустическую связь как комплексный процесс, разделяя его на три звена: излучение, распространение и прием звука. Голосовые аппараты и слуховые системы анализируются в эволюционно-физиологическом плане. С тех же позиций прослежено возникновение и развитие ультразвуковой чувствительности. Большое внимание уделено вопросу надежности и помехоустойчивости связи.

Много интересного содержит разделы, посвященные образу жизни животных, пользующихся эхолокацией.

Е. К. Еськов,
доктор биологических наук

Рязань

А. И. Константинов, В. Н. Мовчан. ЗВУКИ В ЖИЗНИ ЗВЕРЕЙ. Отв. ред. А. С. Мальчевский. Л.: Изд-во Лен. ун-та, сер. «Жизнь наших птиц и зверей», вып. 7, 304 с., ц. 1 р. 50 к.

Книга погружает читателя в удивительный мир общения животных, воспроизведенный

История одного ленивца

А. Л. Рылов, А. Л. Хвесин,
В. Н. Ремнев

Однажды к нам в лабораторию принесли ленивца. Это был пушистый толстый зверек, обросший зеленоватой шерстью и похожий на обезьянку, но только без хвоста. Нас удивил невероятно медлительный взгляд его синеватых глаз: чтобы окинуть им комнату, ему требовалось несколько минут. Ленивца положили на свободный стол. Кое-как перевернувшись на спину, зверек стал перебирать трехпальными лапами воздух, словно поглаживая его. Наконец нашупал стойку настольной лампы и, вскарабкавшись по ней, повис сверху животом, затворил веки и замер.

Женщины пришли в восторг от симпатичного животного и стали его тискать, как кошку. Но поскольку ленивец не подавал никаких признаков бодрствования, его скоро оставили в покое, разложив под лампой ломтики арбуза и несколько развернутых конфет.

Тут зазвенел телефон, и наше внимание было привлечено новым событием. Звонили из отдела кадров и напомнили, чтобы с сегодняшнего дня в табель включили нового научного сотрудника Виктора Николаевича Ремнева. Наконец-то. Два года у нас пустовала эта ставка, и шеф, безуспешно искавший на нее претендента, очень обрадовался, так как теперь в любом случае она оставалась за нами.

— А когда мы познакомимся с этим Ремневым? — спросил шеф.

На это последовал ответ, что в соответствии с приказом новый сотрудник должен был уже с утра приступить к своим обязанностям и он провожден на рабочее место

со всеми документами, полагающимися молодому специалисту.

— Вижу, вижу, бумаги уже здесь! — воскликнул шеф и попросил передать ему толстый конверт, лежавший как раз под конфетами для ленивца.

— Вот диплом, совсем неплохой, и специальность — то, что нам нужно, — бормотал шеф в телефон, перебирая содержимое конверта, — направление молодого специалиста, уже готовое удостоверение... фотография...

Тут шеф взглянул на ленивца и задумался.

— Вы не ошиблись? — переспросил он.

Ему ответили, что все документы Виктора Николаевича в полном порядке.

— Хорошо, сказал шеф, — я его беру.

Он встал, загадочно посмотрел на нас и объявил:

— Разрешите представить нашего нового сотрудника, молодого специалиста Виктора Николаевича Ремнева.

Конечно, мы ему не поверили. Как может существо, не умеющее читать, писать, говорить, даже двигаться как следует, стать ученым? Но шеф объяснил, что берет Виктора Николаевича лишь до тех пор, пока не найдет на его место нужного сотрудника, а иначе в лаборатории не будет ни человека, ни ставки.

Итак, Виктор Николаевич остался у нас.

Поначалу он казался во всех отношениях славным сотрудником: не сплетничал, не затевал склок, не курил в комнате и никого не отвлекал от дел. Кушал Виктор Николаевич прямо на рабочем месте, и хватало-то ему на неделю или кусочка пирожка, или огурчика, а то и горсти винограда. Любил он и молодые листики традесканции, что росла над его столом. С ними же он, видимо, получал и воду: Ремнев никогда ничего не пил.

Поскольку род нашего сотрудника происходит из Южной Америки, то линял он осенью, а летом покрывался густой шерстью. Может, из-за этого Виктора Николаевича однажды сильно побил моль. Она даже проела у него на боку небольшую дырку. С тех пор наши женщины на лето пересыпали его нафталином, а в октябре пылесосили.

Понравился Ремнев и институтскому начальству, хотя за пределами нашей комнаты его никто не видел. Через пару лет оказалось, что у Виктора Николаевича хорошие научные показатели. По просьбе шефа мы стали брать его в соавторы статей, тезисов, докладов, заявок на изобретения или рацпредложения, тем более что фамилий там и так порой набиралось строчки на три. Постепенно это вошло у нас в привычку. В результате Виктор Николаевич так преуспел, что по числу публикаций и заявок занял первое место во всем отделе.

Кроме того, на всех собраниях начали ставить в пример большую научно-педагогическую работу Ремнева. Дало в том, что шеф никак не мог найти нужного человека на его ставку, а начальство спрашивало с лаборатории все больше, напоминая, что у нас появилась такой работающий ученый. И шефу приходилось брать из институтов дополнительных дипломников, которых записывали опять-таки на Ремнева. Так за два года им было подготовлено более десяти молодых специалистов.

Ко всему прочему Виктор Николаевич был чрезвычайно дисциплинированным сотрудником. Он никогда не опаздывал на работу и не отлучался с нее. Проверки заставляли его исключительным образом на рабочем месте.

Наконец, Ремнев стал членом множества известных и неизвестных нам добровольных обществ. Об этом свидетельст-

вовала поистине филателистическая коллекция марок, наклеенных на его лампе и столе несерьезными лаборантками.

Любил Ремнев съездить и на овощебазу.

Так могло бы и продолжаться, но однажды шеф нашелтаки дельного специалиста на ставку Ремнева, и тут встал вопрос, как избавиться от ленивца. Мы никогда не задумывались над этим, нам казалось, что все произойдет само собой. Однако, к величайшему удивлению, мы столкнулись с немалыми трудностями. Не разбирая человеческой речи, Виктор Николаевич просто не воспринял бы просьбы найти другую работу. Но если бы он и понял нас, мы бы все равно не дождались от него письменного заявления об уходе по собственному желанию. Ведь трехпалые лапки этого сотрудника никогда не держали пера! Положение усугублялось тем, что все сокращения штатов, пронисвшиеся над нами, увлекали с собой кого угодно, только не Ремнева — одного из лучших ученых института. До пенсии ему было далеко. И здоровьем он отличался завидным.

Возмущенные, мы перестали брать его в соавторы научных публикаций и несколько раз перед проверками прятали его в шкаф. Но когда институт узнал, что Виктор Николаевич уже больше года ничего не пишет, да и на работу не выходит, везде стали говорить, что он, наконец, взялся за монографию. Начальство даже заинтересовалось, не нужен ли ему творческий отпуск.

Подожди мы несколько лет, Ремнева, может, и уволили бы как не справляющегося с научной работой. Но как раз ждать мы больше не могли и решили переменить тактику. Мы подтвердили, что Виктор Николаевич взялся за монографию, да к тому же еще за вводную главу к коллективному руководству. В специальных научных журналах снова замелькала его фамилия, да так часто, что дошло до выдвижения кандидатуры Ремнева к присуждению ученой степени по общей совокупности опубликованных работ. А шеф стал пропагандировать в разных организациях одаренного и энергичного ученого. И все это в надежде, что на Ремнева кто-то польстится.

Но ни бедный шеф, да и никто другой не мог себе представить, чем это кончится. В том году шефу исполнилось шестьдесят лет, и мы от души отпраздновали его юбилей. А через неделю шефу неожиданно предложили уйти на пенсию, и к нам назначили нового заведующего лабораторией. Это был кандидат наук В. Н. Ремнев!

*

Он заведует нами уже третий год, и работаем мы, как считает начальство, даже лучше, чем раньше. А по нашему мнению, хотя Виктора Николаевича, конечно, не сравнить с прошлым шефом, он — не худший из завлабов; не придирается к статьям, не заставляет работать только на себя или тратить время на ненужные опыты, не жалуется начальству и не подлизывается к нему.

Мы живем спокойно, трудимся себе в удовольствие и, откровенно говоря, узнав, что Виктор Николаевич уходит из лаборатории с повышением, мы не так уж и обрадовались. Кто его знает, кого нам дадут взамен?

В номере использованы фотографии ДАНИЕЛЯНА Ф. Д., ЛЮБИНСКОГО Е. Г., СЕРОВА Г. Д., СТАРОДУБА К. Д., ТИМОШИНА А. А.



— 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

Литературные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

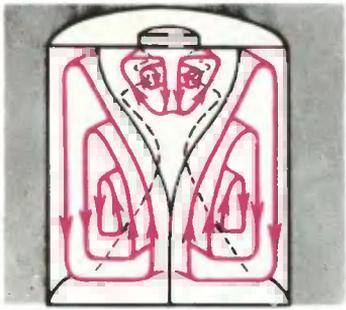
Корректоры:
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС

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 9.04.86.
Подписано к печати 15.05.86.
Т—01560
Формат 70×100¹/₁₆
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1365,3 тыс.
Уч.-изд. л. 15,4.
Бум. л. 4
Тираж 51 000 экз. Зак. 1066.

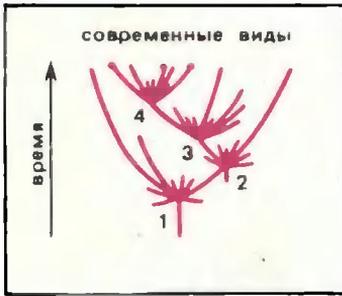
Ордена Трудового Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат ВО «Союзполиграфпром»
Государственного комитета СССР
по делам издательства, полиграфии
и книжной торговли.
142300, г. Чехов Московской области



В следующем номере

Как распространяются интенсивные звуковые и ультразвуковые волны в различных средах? Как влияет на них среда и как они влияют на среду? Как усилить слабый сигнал за счет энергии мощной волны? Ответы на эти и многие другие вопросы, исследуемые нелинейной акустикой в течение четверти века, сегодня важны для самых разных отраслей народного хозяйства — от рыболовства до электроники.

Руденко О. В. Нелинейная акустика: достижения, перспективы, проблемы



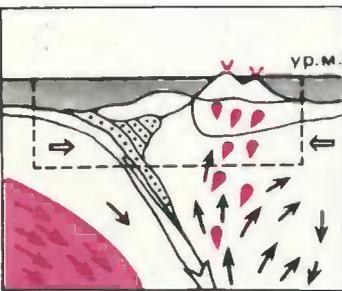
Закономерности эволюции имеют больше сходств, чем различий, на всех уровнях организации живого. Данные геносистематики — науки, занимающейся сравнительным анализом ДНК — позволяют утверждать, что теория молекулярной эволюции должна строиться на основе классической концепции.

Антонов А. С. Эволюция генов растений: вызов теории «молекулярных часов»



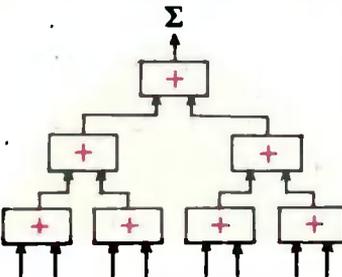
В разных частях света найдены костные остатки более чем 100 видов летающих ящеров. И каждая новая находка дополняет сведения об этих древних покорителях воздушного пространства.

Бахурина Н. Н. Летающие ящеры



Изучение метаморфизма, т. е. процессов преобразования пород под действием высокой температуры и давления, дает ключ к решению некоторых общегеологических проблем — таких, как происхождение континентов или механизм погружения океанических блоков земной коры под континентальные.

Добрецов Н. Л. Метаморфизм, континенты и зоны субдукции



Архитектура существующих ЭВМ пока еще сильно отстает от возможностей, предоставляемых современной технологией. Это несоответствие можно устранить, реализуя принципы одновременной, параллельной обработки информации.

Канторович Л. В., Фет Я. И. Архитектура будущих ЭВМ

Цена 80 к.
Индекс 70707



Получено 1988 г.