

ISSN 0032-074X

9 ПРИРОДА

1983



ПРИРОДА

Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР



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

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Член-корреспондент АН СССР
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

Академик
Б. М. КЕДРОВ

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

Доктор экономических наук
В. А. МЕДВЕДЕВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
член-корреспондент АН СССР
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Основан в 1912 году

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

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАШУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРДТ

На первой странице обложки. Полированный спил агата открывает взгляду причудливый узор и изысканную палитру красок. См. в номере: Здорик Т. Б., Минеев Д. А. Парад самоцветов Урала. Фото из альбома «Агат» (Свердловск, 1982).

На четвертой странице обложки. Рафаэль. Фрагмент фрески «Афинская школа», на котором изображены Платон и Аристотель. См. в номере: Раушенбах Б. В. «Закон сохранения ошибок» в изобразительном искусстве.

В НОМЕРЕ

- Феокистов Л. П.** Современное вооружение приобретает характер абсолютного
Человечество располагает силой, способной вызвать необратимые последствия в масштабах
всей Земли. Это не голословное утверждение — оно подкреплено научно обоснованными
расчетами и оценками. 3
- Зельдович Я. Б.** Современная космология 11
Сегодня космологи могут нарисовать общую картину эволюции Вселенной и даже опреде-
лить основные ее периоды. Но относительно того, как происходило само «рождение» Все-
ленной, их мнения расходятся.
- Пушин И. К.** Экспедиция к желобу Тонга 25
Советские и зарубежные геологи исследовали один из самых крупных на Земле глубоководных
океанических рвов.
- Барлас В. Я., Ранцман Е. Я.** Где может произойти землетрясение? 28
Разработана методика анализа рельефа, позволяющая уточнить расположение участков
наибольшей сейсмической опасности в горных районах.
- Кошелев А. И.** Степная тиркушка на юге Барабы 40
Новые сведения о малоизученном сородиче куликов, обитающем в основном в СССР.
- Микаэлян А. А.** Нейтринная лаборатория на Ровенской АЭС 43
Появился новый научный центр, в первоочередные задачи которого входят поиски нейтрин-
ных осцилляций и разработка мер контроля за процессами в активной зоне реактора.
- Самойленко Ю. И., Чуянов В. А.** Автоматическое управление плазмой в магнитных
ловушках 46
Системы автоматического управления термоядерной плазмой, созданные в последнее вре-
мя, гарантируют ее равновесие и устойчивость в термоядерных установках будущего.
- Казанский В. И.** Начало рудообразования в истории Земли 56
Начало процесса рудообразования на Земле совпадает с рубежом, от которого отсчитывается
ее геологическая история.
- Каменский А. А., Титов С. А.** Гормоны гипофиза — регуляторы памяти 64
Экспериментально доказано активное участие гормонов гипофиза в процессах, связанных
с памятью и обучаемостью.
- Бромлей Ю. В., Пучков П. И.** Этнические общности: их историко-типологическая и
этнолингвистическая классификация 74
Типологизация и классификация дают возможность в многообразии этнических общностей
выявить черты, общие для различных народов, проследить их исторические и генетические
связи.

Применение современной теории научной перспективы в художественном творчестве учитывает работу мозга при зрительном восприятии. Это ставит художника перед проблемой выбора способа изображения, ибо картины, написанные с одной и той же точки, могут быть различны.

Со временем все ярче вырисовывается научная значимость идей выдающегося физиолога.

Запуск «Венеры-15» и «Венеры-16» (103) • Осадочные породы на Венере (104) • Два японских спутника (105) • Изучение молнии из космоса (105) • Куда направлено магнитное поле Галактики (105) • Рекордное простое число (106) • Волоконные световоды и ультракороткие световые импульсы (107) • Влияние слабых магнитных полей на структуру твердых тел (108) • Пьезокристалл — акустический аналог лазера (108) • Новое связанное состояние «прелестных» кварков (109) • Митохондриальные гены обнаружены в ядре (109) • Установлен возбудитель скрепи? (110) • Как определить направление движения? (111) • Новые методы лечения ожогов (111) • Сигаретный дым мешает самоочищению легких (111) • Факторы роста и дифференцировки костной ткани (112) • Морской еж — источник эйкозапентаеновой кислоты (112) • География токсичности фугу (112) • «Быстрое» шампанское (113) • Микробы разрушают скорлупу яиц аллигаторов (113) • Как муравьи ориентируются ночью? (114) • Химическая коммуникация насекомых (114) • Как кедровки находят свои запасы? (115) • У большой панды — двойня! (115) • Сморчки выращиваются в культуре (116) • Термиты влияют на климат? (116) • Охрана природной среды во Франции (117) • Природный экспресс-метод образования нефти (117) • 84-й рейс «Гломара Челленджера» (118) • Открыт минерал маргаритасит (119) • Еще одно звено в истории прачеловека (119)

Черняк В. С. О гносеологических аспектах развития науки (на кн.: Лекторский В. А. Субъект. Объект. Познание) (120)

Здорик Т. Б., Минеев Д. А. Парад самоцветов Урала (на кн.: Черных В. Н., Семенов В. Б. Агат) (122)

Александров А. П. Наука — стране. Статьи и выступления (123) • Астрофизика и космическая физика (124) • Адам Д. Восприятие, сознание, память. Размышления биолога (124) • Гэлстон А., Дэвис П., Сэттер Р. Жизнь зеленого растения (124) • Хиллари Э., Дойг Д. На холодных вершинах (125) • Древние памятники культуры на территории СССР. Сборник научных трудов (125) • Макареня А. А., Нутрихин А. И. Менделеев в Петербурге (125) • Еремеева А. И. Рождение научной метеоритики. История Палласова Железа (126) • Иоффе А. Ф. Встречи с физиками. Мои воспоминания о зарубежных физиках (126)

Митрофанов А. В. Задачи академика П. Л. Капицы

Современное вооружение приобретает характер абсолютного

Л. П. Феоктистов



Лев Петрович Феоктистов, член-корреспондент АН СССР, заместитель директора Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Основные труды — в области ядерной физики и техники. Лауреат Ленинской премии. Герой Социалистического Труда. Заместитель главного редактора журнала «Природа».

С появлением ядерного оружия (а также, возможно, некоторых форм химического и бактериологического оружия) в руках человека оказались средства, способные уничтожить, и притом многократно, все живое на Земле.

Атомная бомба, сброшенная над Хиросимой и разорвавшаяся на высоте около 550 м (воздушный взрыв), обладала мощностью всего около 20 кт. Однако разрушениями был охвачен фактически весь город. В радиусе до 8 км полностью или частично были разрушены 60 тыс. домов. Возник огненный шторм, длившийся 6 часов; поднялся сильный ветер, который дул со скоростью 50—60 км/ч со всех сторон в направлении горящего города, в зону разрушений. Железо и другие металлы вблизи эпицентра взрыва исчезли, испарились (температура составляла несколько сот тысяч градусов); поверхностный слой грунта оплавился на значительную глубину.

Под воздействием ударной волны и теплового излучения в Хиросиме сразу погибло 78 тыс. человек и было ранено 64 тыс. В последующем, с учетом воздействия других поражающих факторов ядерного взрыва (проникающая и остаточная радиация), количество пострадавших воз-

росло до 163 тыс., а погибших — до 240 тыс. (соответственно в 2,5 и 3 раза по сравнению с первоначальными цифрами).

СОВРЕМЕННАЯ ХИРОСИМА. КАКОЙ ОНА МОЖЕТ БЫТЬ?

Мощность современных ядерных зарядов исчисляется уже в мегатоннах. В арсеналах ядерных стран имеются боеголовки мощностью 10—20 и более мегатонн. Используя печальный опыт Хиросимы и Нагасаки, а также результаты новейших исследований, экспертная группа ООН проанализировала возможные последствия ядерного удара по городу с площадью около 250 км² и населением свыше 1 млн человек.

При мощности удара в 1 Мт (в 50 раз большей, чем в Хиросиме) город должен быть практически уничтожен. От прямого и косвенного воздействий ударной волны и светового (теплового) излучения погибнет 270 тыс. человек, а от облучения в момент взрыва — 90 тыс. человек. Не менее 90 тыс. человек будет ранено. Город лишится воды, электроэнергии, газа. Некому будет оказывать медицинскую помощь.

При взрыве в 10—20 Мт все параметры уничтожения возрастают в два и более раз, а площадь разрушений (300—500 км²) уже превышает размеры самого города. Пожарами будет охвачен район в радиусе 30 км и более от эпицентра взрыва. Непосредственной угрозе подвернутся люди, проживающие в радиусе 60 км от эпицентра. При наземном взрыве образуется кратер диаметром до 800 м и глубиной 75—90 м. Зона поражения в направлении господствующих ветров протянется на сотни километров.

Это — масштаб бедствия при взрыве единичных бомб. Что же будет в случае глобального ядерного конфликта? Не следует забывать, что только в США изготовлено около 30 тыс. ядерных зарядов, из которых около 10 тыс. приходится на стратегические.

ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА МОЖЕТ БЫТЬ УСИЛЕНО ВЫБОРОМ ЦЕЛИ

Военный конфликт неизбежно сопряжен со стремлением нанести противнику максимальный материальный ущерб. В связи с этим в наши дни встает новая, чрезвычайно острая проблема, обусловленная бурным развитием атомной энергетики во всем мире.

Общее мировое производство электроэнергии на АЭС составляет около 150 ГВт; согласно имеющимся прогнозам, к 2000 г. оно может достичь 500—1000 ГВт. Это означает, что уже сейчас на планете функционируют сотни предприятий атомной промышленности, а к 2000 г. их число возрастет до нескольких тысяч.

При конструировании АЭС предусматривается целый комплекс мероприятий, которые практически полностью исключают проникновение сколько-нибудь заметных количеств радиоактивности в окружающую среду. Эти мероприятия вполне надежны и эффективны в мирное время, однако в военный период, когда атомные объекты подвергаются разрушениям средствами нападения, они теряют силу.

Одна АЭС мощностью 1 ГВт содержит в себе несколько тонн радиоактивных изотопов — в 100 раз больше, чем водородная бомба мощностью 1 Мт. (Правда, необходимо учитывать, что значительная доля короткоживущих осколков исчезает из-за радиоактивного распада; среднее время кампании тепловыделяющего элемента АЭС — 3 года.) Точные оценки показывают, что радиоактивное за-

ражение, вызванное полным разрушением одной АЭС, в первый месяц после катастрофы сопоставимо с радиоактивными последствиями наземного термоядерного взрыва в 1 Мт, а через год существенно (в десятки раз) превосходит его. Непригодной для обитания оказывается примыкающая к АЭС (в направлении ветра) территория общей площадью в десятки тысяч квадратных километров. Особенно пагубными последствия могут оказаться для густонаселенных стран Западной Европы. Смертоносный след будет настолько значительным по протяженности, что пересечет государственные границы.

Уже только с этих позиций говорить о «локальных» войнах бессмысленно — уцелеть на своем клочке земли невозможно.

Более того, даже обычная, неядерная, война, сопряженная с разрушением атомных объектов, может привести к нарушению герметичности реактора и выходу в воздух газообразных летучих продуктов деления, доля которых в общей радиоактивности составляет около 10%.

Если угроза ядерной войны не будет ликвидирована, Земля окажется «заминированной» радиоактивностью, с годами все увеличивающейся. Только разрушение объектов атомной промышленности приведет к ситуации, когда человеку в буквальном смысле слова некуда будет ступить.

Вот почему Советское правительство внесло на рассмотрение ООН проект договора о сохранности объектов атомной промышленности. В этом документе провозглашается, что атомные предприятия должны быть предметом особой заботы правительств и международных организаций, а всякие попытки их разрушения должны рассматриваться как тяжчайшее преступление против человечества и приравниваться к использованию ядерного оружия, независимо от того, к каким средствам прибегнет агрессор, со всеми вытекающими из этого положения ответными мерами.

Настал момент, когда надо выбирать «либо-либо», настолько глубоки противоречия, порожденные развитием ядерной физики. Атомная наука, как видим, двулика.

В определенной степени приведенные соображения могут быть распространены и на другие виды промышленности, прежде всего такие, как химическая, медицинская, биологическая. Предприятия, изготавливающие лекарственные препараты, ядохимикаты для сельского хозяйства, потребительские товары хими-

ческой промышленности, в своих технологических цепочках могут содержать яды и бактерии, опасные для человека и окружающей среды.

Особую опасность представляет собой случайное или намеренное уничтожение складов химического и бактериологического оружия. Не секрет, что склады с этими видами оружия начинают появляться в густонаселенных районах Западной Европы.

Таким образом, непосредственное действие ядерного взрыва может быть многократно усилено выбором цели. Этот тезис обобщается и в другом отношении.

Представим себе ситуацию более «безобидную», чем описанные выше. Одна мегатонная бомба взрывается над лесным массивом. Световое излучение вызовет немедленный пожар на площади порядка 1000 км^2 , содержащей 10 млн м^3 леса. Очень трудно предугадать развитие этого грандиозного пожара: будет ли он распространяться дальше или погаснет сам из-за нехватки кислорода? Это в сильной степени зависит от состава леса, времени года, метеоусловий и т. п. Если в качестве компромиссной оценки принять, что лес будет гореть на территории 1000 км^2 , то тепловая энергия, выделившаяся при таком пожаре, превзойдет энергию собственно взрыва в десятки раз. Пожар будет сопровождаться мощными ветрами, вызванными перемещениями разогретого воздуха в верхние слои атмосферы и поступлением холодного воздуха через периферию. По-видимому, значительная часть продуктов горения (золы) будет выброшена вверх восходящими потоками воздуха и рассеяна в стратосфере.

При таких оценках достаточно имеющих в США бомб, чтобы выжечь лес на площади 10 млн км^2 . Общее энерговыделение в таком случае станет сравнимым с энергией, которую тратит человечество в течение десятков лет. Зола, если она окажется поднятой в верхние слои атмосферы, «закроет» Солнце — толщина ее слоя в пересчете на всю поверхность Земли достигнет долей миллиметра.

Нужно отметить, что многие глобальные эффекты из-за грандиозности явлений не могут быть достаточно определенно предсказаны и оценены, «смоделированы» в лабораториях. Однако уже приведенные примеры убедительно демонстрируют, что человечество располагает силой, способной вызвать необратимые последствия в масштабах всей Земли, что дело не только в непосредственном действии ядерного

оружия, но и во вторичных эффектах, приводящих к разрушению естественной экосистемы, от которой зависит существование человеческого общества.

МОЖЕТ ЛИ ЯДЕРНАЯ ВОЙНА БЫТЬ «ОГРАНИЧЕННОЙ»?

Даже бегло нарисованная картина глобальной ядерной войны выглядит угрожающе. Однако находятся сторонники ядерного вооружения, которые отстаивают тезис о так называемой «ограниченной» ядерной войне. Но что такое «ограниченная» война? Разве кто-нибудь может установить правила «игры»? Допустим, в такие правила входят: не бомбить мирные города, использовать бомбы только на поле боя и мощностью не более 10 кт , производить только воздушный (без радиоактивного «следа») взрыв и т. д. При всем том возникают вопросы: неужели для ведения «ограниченной» войны нужно такое огромное накопление оружия и где гарантии, что «ограниченная» война не перерастет во всеобщую?

Расплывчатый тезис об «ограниченной» войне логически противоречив и вреден. Он создает иллюзию выхода из безвыходного положения, открывает возможность якобы «разумного» использования ядерного оружия. Вместе с тем тезис об «ограниченных» действиях, об «ограниченном» ядерном вооружении — в противовес полному разоружению — довольно распространен даже в среде вполне миролюбиво настроенных американских ученых. Защищая этот тезис, они ссылаются на новейший исторический опыт, подтверждающий, что до сих пор мир жил без глобальных конфликтов во многом благодаря сбалансированному ядерным силам. Приводятся экономические соображения: сдерживать «экспансию русских» в Европе гораздо дешевле с помощью небольшого количества атомных бомб, нежели большим количеством обычных средств ведения войны.

Было бы неправильным утверждать, что наличие баланса в ядерном оружии не оказывало никакого влияния, в том числе стабилизирующего, на обстановку в современном мире. Однако вопрос сейчас стоит иначе. Не исчерпал ли себя этот аргумент? Не превратился ли он в свою противоположность? При огромном запасе ядерного оружия, при полном отсутствии каких-либо ограничений на его производство в будущем, при медленном, но

неуклонном «расползании» этого средства массового истребления во все регионы мира, существует огромная опасность нарушения зыбкого «силового» равновесия. Не случится ли так, что время будет упущено и уже некому будет сослаться на исторический опыт? Уже сейчас бессмысленным делается скрупулезный подсчет возможностей, независимо от того, в каких единицах этот подсчет производится — в количестве боеголовок или мегатоннах.

Нельзя признать убедительным и другой, экономический, довод. Военный бюджет США возрастает вдвое за каждые 10 лет. Усилия народа, выраженные круглой суммой в 250 млрд долл., ежегодно изымаются из сферы потребления. Рассуждения об агрессивности русских бездоказательны, а непроизводительный расход огромных финансовых средств — факт безусловный.

На лицо две концепции: советская — избежать ядерной войны, уничтожив ядерное оружие и объявив его вне закона, и американская — манипулировать угрозой применения ядерного оружия, чтобы запустить противника и вести с ним диалог с позиции силы. В основе американской концепции лежит открыто выраженное недоверие к противнику, прежде всего к Советскому Союзу.

ГЛАВНАЯ ПРИЧИНА — В НЕДОВЕРИИ

Возьмите любое выступление политических лидеров США и вы обязательно найдете слова о военном превосходстве русских, о советской военной угрозе. Эта тема не на злобу дня — она культивируется десятилетиями. Что же имеет место в самом деле?

Первая атомная бомба появилась в 1945 г. в США. Вряд ли найдутся люди, которые осудят американских ученых, создавших в тяжелые годы войны в противовес фашистской агрессии новый вид оружия. Однако вряд ли можно понять последующие действия США, когда в том же 1945 г. на японские города Хиросиму и Нагасаки были сброшены атомные бомбы. Исход войны был предрешен, и такого же военно-политического эффекта можно было достичь, продемонстрировав мощь ядерного оружия где-нибудь в безлюдной местности.

Это была демонстрация силы, предназначенная для Советского Союза, начало «холодной войны» с превращением союзника по антигитлеровской коалиции во врага. Равновесие сил нарушилось в такой степени, что с этим мириться было нельзя.

Положение отчасти было исправлено в 1949 г. с появлением советской атомной бомбы. Но не полностью. Возникшие вокруг СССР многочисленные военные базы создавали непосредственную угрозу нашему государству, тогда как США по-прежнему могли чувствовать себя в безопасности.

Равновесие сил, приведшее действительно к стабилизации, возникло позже, в конце 50-х — начале 60-х годов, вместе с развитием ракетной техники. Теперь уже ни одна из сторон не могла чувствовать себя в безопасности. Дальнейшее совершенствование ядерного оружия и его количественное накопление привели к взрывоопасной ситуации, которую мир переживает сегодня.

При огромном разнообразии оружия, отсутствии критериев, сводящих эффективность разнородного оружия к определенному числу, всегда остается лазейка для утверждения о военном превосходстве противника. Необходимо считаться и с тем, что для определенной категории людей в капиталистическом обществе военная промышленность является основой личного благосостояния и поэтому они охотно изыскивают аргументы в пользу наращивания гонки вооружений.

К сожалению, приходится констатировать, что милитаристские настроения в США сейчас преобладают. В их основе лежит все то же культивируемое на протяжении десятилетий недоверие к Советскому Союзу. Этим объясняется тот факт, что США отвергают советские предложения о «неприменении первыми ядерного оружия», «полном запрещении испытаний» и т. д.

В науке есть понятие устойчивого и неустойчивого равновесия. Равновесие, которое по тем или иным причинам толкает к накоплению оружия, не может быть устойчивым. Американскую сторону беспокоит вопрос, как при качественном усовершенствовании ядерного оружия и его количественном накоплении не допустить глобального конфликта, который неминуемо затронет жизненные интересы США. В поисках выхода прибегают порой к довольно изощренным логическим рассуждениям. Утверждается, например, что наземные стратегические ракеты «русских» слабо защищены от ядерного удара и должны быть приведены в действие, прежде чем будут разрушены. Следовательно, они с заметной вероятностью могут среагировать на ложный или случайный сигнал, спровоцировав тем самым мировую войну. Вывод такой: для стабилизации положения «рус-

ские» должны сократить число своих наземных стратегических ракет. При этом игнорируется то обстоятельство, что в результате такого сокращения возникнет одностороннее превосходство США, а это может стать более дестабилизирующим фактором, чем исходное положение.

По своей сути сама американская военная доктрина, базирующаяся на развитии сети военных баз вокруг СССР и использовании подводных лодок, оснащенных ядерным оружием, ведет к дестабилизации. Стоит только напомнить, что военные базы США расположены в 32 странах, а их число составляет уже около 1500. При этом надо иметь в виду, что время полета межконтинентальной ракеты из одного полушария в другое около 30 мин. В то же время, чтобы «достать» территорию СССР с подводной лодки, нужно уже около 15—20 мин; ракета «Першинг» с военной базы в Западной Европе летит всего 5—6 мин. О какой стабильности может идти речь, если на принятие решений отводится столь короткий срок? Дефицит времени, который умышленно создается американскими стратегами, повышает вероятность ошибки, а это представляется куда более дестабилизирующим фактором, чем якобы существующая неустойчивость советских ракетных систем.

Жизненно необходимо решение о полном уничтожении ядерного вооружения. И первым шагом к этому могло бы послужить немедленное — в течение года — его сокращение, причем существенное, допустим вдвое. Такая сильная мера сравнительно просто контролируется, скажем добровольным соглашением об ограничении производства трития.

Этот пункт чрезвычайно привлекателен и с экономической точки зрения. На производство активного материала (обогащенного ^{235}U и ^{239}Pu) ядерные державы затратили уже десятки миллиардов рублей. Его использование на мирных атомных электростанциях может дать большую экономию уже только за счет стоимости добычи естественного урана.

ПРЕКРАЩЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ — ОДИН ШАГ К ВЗАИМНОМУ ДОВЕРИЮ

В общем оздоровлении международной обстановки, в достижении доверия между государствами, особенно ядерными и неядерными, большое значение имел бы договор о полном запрещении испытаний

ядерного оружия. Тезис, казалось бы, бесспорный, но и он встречает возражения, иногда даже со стороны пацифистски настроенных людей.

Порой от западных ученых приходится слышать: а зачем, собственно, запрещать испытания? Пусть оружие совершенствуется — у совершенного оружия сократится вероятность случайного, непреднамеренного взрыва. Рассуждение поверхностно, поскольку при испытаниях изделие совершенствуется в иных отношениях. Вопрос случайного и несанкционированного взрыва серьезен, но связанная с ним система предохранительных мер относится прежде всего к автоматике и к ядерным взрывам прямого отношения не имеет.

Есть другая категория людей за рубежом, которые считают, что запрещение испытаний — средство малоэффективное с точки зрения распространения ядерного оружия. Ведь секрет оружия, по их словам, известен, и при желании, располагая определенным набором материалов, можно сделать бомбу в «подвале», без испытаний. В таких рассуждениях есть значительная доля легковесности, граничащей с наивностью. Ведь речь идет о весьма сложном и опасном объекте. Достаточно очевидно, что любая страна, если она встала на путь ядерного оснащения, должна быть уверена в качестве своего оружия, иными словами, в том, что оно выстрелит в нужное время и в нужном месте. Такая уверенность (а она должна быть почти абсолютной) может быть достигнута всесторонней проверкой оружия, включающей полномасштабные испытания. Можно поверить в теоретическую возможность появления бомбы без испытаний, но нельзя себе представить, чтобы в этих условиях возникла система ядерного вооружения, опасная для других стран.

Договор о полном запрещении испытаний ядерного оружия в том виде, в котором он предложен Советской делегацией на сессии ООН осенью 1982 г., положил бы конец усердствованию ядерного оружия. Основной вред от испытаний состоит в том, что они находятся в русле программы наращивания вооружений, порождают мысли, направленные на истребление человека; они увеличивают отрыв ядерных стран от неядерных, вызывая законное беспокойство последних.

Противодействие росту числа стран, обладающих ядерным оружием, — важный элемент сохранения мира.

В связи с этим следует обратить

внимание еще на одно обстоятельство. На первых порах становления атомной промышленности преобладающим методом разделения изотопов был газодиффузионный, требующий значительных капиталовложений и развитой энергетики. Со временем появились иные, более доступные технологии. Благодаря им производство «бомбовых» материалов стало доступным даже странам с умеренно развитой промышленностью.

Настало время принять соглашение, запрещающее всем державам, кроме ядерных, вести переработку тепловыделяющих элементов АЭС после их использования. Одновременно должны возникнуть правовые нормы, обязывающие ядерные державы вести переработку этих элементов и поставку свежих во все страны исключительно на экономической основе и под эгидой МАГАТЭ.

Какова же реакция американских правительственных кругов на советскую инициативу в ООН о прекращении испытаний, на мощное антивоенное движение в США в поддержку замораживания ядерных средств?

Известно, что именно в 1982 г. США произвели наибольшее за последнее десятилетие число подземных испытаний. В 1982 г. администрация Рейгана приняла новое постановление, согласно которому предостановление ядерного топлива другим государствам не сопровождается непременным требованием его возвращения в США для переработки после использования на АЭС. Это правило до последнего времени признавалось наилучшей мерой предосторожности против использования отработанного ядерного топлива для извлечения из него плутония и распространения ядерного оружия в другие страны.

Наконец, нельзя не упомянуть о новой, развернутой в самое последнее время кампании на страницах американской прессы. Цель ее — вызвать новый виток в развитии атомного оружия. Речь идет о новой системе противоракетной обороны, которую Рейган пытается навязать американскому народу.

Началось все с сообщения о том, что группе ученых из Ливерморской лаборатории (США) якобы удалось создать рентгеновский лазер, активным веществом которого служат металлические стержни, а накачка осуществляется рентгеновским излучением от взрыва атомной бомбы. Если дело обстоит именно так (а мы располагаем очень скудной информацией на

этот счет), то американских физиков можно поздравить с интересным результатом. Но и только. Так же трезво отнеслась к этому известию и научная общественность США. Но в последнее время сообщения приобрели иной тон. Эдвард Теллер, для которого престиж «отца водородной бомбы», очевидно, дороже здравого смысла, посещает президента Рейгана и ставит вопрос о резком увеличении ассигнований на развитие нового вида ядерного вооружения, которому он уже приклеил ярлык оружия «третьего поколения» («Минитмены» и «Посейдоны» причислены им ко второму поколению). Новый этап гонки вооружений состоит, если верить газете «Нью-Йорк таймс», в создании оружия направленного действия (нейтронного, радиоактивного, рентгеновского или ударного). На фоне этого пресловутая нейтронная бомба классифицируется как «примитивный предшественник». На осуществление этой задачи отводится срок в 10—15 лет, декларируется исключительно оборонительный характер нового оружия, а люди, выступающие за замораживание ядерных средств, прекращение испытаний, объявляются по меньшей мере недальновидными.

Особенность антиядерной системы противоракетной обороны (ПРО), которая существенно отличает ее, скажем, от систем ПВО времен второй мировой войны, состоит не только в том, чтобы найти, а затем уничтожить очень быстро перемещающиеся компактные объекты, к тому же замаскированные всевозможными ложными целями. Она прежде всего заключена в высокой степени надежности и эффективности системы. В самом деле, если для обычной ПВО уничтожение 70% самолетов можно считать осмысленной задачей, поскольку ущерб сокращается вдвое, то для ПРО, направленной на истребление ядерных боеголовок, требуемая эффективность возрастает до 99%. Иначе ущерб будет слишком велик — страна все равно окажется выведенной из строя.

Имея в виду эти обстоятельства, сегодня со всей определенностью можно констатировать отсутствие сколько-нибудь приемлемых предложений относительно организации такой системы. Средства противодействия и нападения должны быть соизмеримы по цене. Если средства нападения существенно дешевле, они выполнят свою задачу элементарным путем. Противной стороне необходимо будет лишь создать количественное перенасыщение

средств нападения. Экономически это будет целесообразнее.

Акцент на космическую ПРО, нацеленную на подавление ракет вблизи старта с помощью сверхмощных лазеров, не может быть обоснован не только по экономическим соображениям. Пока не существует лазеров с необходимой энергией и расходимостью, а космические платформы, на которых эти лазеры предполагают устанавливать, чрезвычайно уязвимы. Такие платформы должны двигаться по хорошо известным и строго определенным баллистическим траекториям: достаточно вспомнить, с какой ювелирной точностью производятся запуски космических кораблей.

КОНТРОЛЬ В ОБЛАСТИ РАЗОРУЖЕНИЯ РЕАЛЕН

Соглашение о прекращении испытаний ядерного оружия выдвинуло бы на повестку дня проблему контроля за выполнением этого соглашения. Надо признать, что сами по себе вопросы контроля достаточно сложны, особенно в деталях. Но не придается ли им слишком большого значения? Не тактический ли это ход? Не средство ли завязнуть в тонкостях, спрятав за техническими трудностями нежелание действовать по существу?

В самом деле, разве мы располагаем примерами тревожных прецедентов? Разве договор об отмене испытаний когда-либо нарушался? Разве соглашение о верхней границе мощности зарядов при подземных испытаниях кем-нибудь игнорировалось?

Нет никаких оснований считать, что соблюдение договора о полном прекращении испытаний станет исключением. Легко вообразить себе, какую тяжелую ответственность взяло бы на себя государство-нарушитель. Вопрос «ради чего?» не может иметь логического обоснования.

Вот что было опубликовано по вопросу о запрещении испытаний в газете «Вашингтон пост» в феврале 1983 г.:

«В 1958 г. президент Эйзенхауэр объявил, что мы готовы заключить договор о полном запрещении ядерных испытаний, распространяющийся на все виды испытаний. Это интересное предложение рухнуло вместе с американским шпионским самолетом, сбитым над Россией. Ни один президент с того времени не обладал ни мудростью, ни престижем, требуемым для подобного столь далеко идущего шага. К тому времени, когда был подписан дого-

вор 1963 г. о запрещении испытаний в атмосфере, участники гонки вооружений выхолостили концепцию Эйзенхауэра: просто испытания стали проводиться под землей. Если бы в 1960 г. был одобрен всеобъемлющий запрет, самое дестабилизирующее оружие в арсеналах обеих сторон — ракеты с многозарядными ядерными боеголовками — было бы сейчас примитивным и менее опасным.

В 1974 г. президент Никсон подписал пороговый договор, который запрещает подземные взрывы мощностью более 150 кт. Он не был ратифицирован. Президент Картер сделал шаг вперед. Русские согласились на установку на советской территории сети сейсмических детекторов, а также на некоторую инспекцию на местах. Но Картер не обладал необходимой политической силой, чтобы извлечь из этого преимущества. В 1982 г. правительство Рейгана объявило, что оно будет первым американским правительством, которое прекратит все переговоры, направленные на достижение полного запрещения ядерных испытаний... Правительство отменило переговоры о запрещении испытаний и даже выразило желание пересмотреть пороговый договор на том основании, что мы будто бы не можем контролировать соблюдение Советским Союзом предела в 150 кт. Это противоречит мнению буквально всех ведущих геофизиков... Все специалисты сходятся в том, что можно обнаруживать подземные взрывы мощностью даже в 2 кт и отличать их от землетрясений, причем с высокой степенью уверенности».

Это — точка зрения известных американских ученых Х. Бете и К. Готфрида. С ней невозможно не считаться.

Одним из важных элементов договора о нераспространении ядерного оружия является контроль на местах за его выполнением (гарантии МАГАТЭ). Это первый и до сих пор единственный опыт истинно международного контроля за выполнением странами обязательств в области разоружения. Такой опыт необходимо накапливать и развивать — гарантии МАГАТЭ могут стать прообразом мер контроля за будущими договорами в области разоружения и контроля над вооружением.

Контроль со стороны международной организации за мирным использованием ядерной энергии представляется многим странам как ущемление их суверенных прав. Это служит порой препятствием для присоединения к Договору. Определенный шаг к увеличению доверия между

странами, развивающими атомную промышленность, был сделан Советским Союзом, когда на сессии ООН было объявлено о согласии нашей страны добровольно поставить несколько своих мирных ядерных установок (в первую очередь, атомных электростанций) под гарантии МАГАТЭ.

НЕТ ВАЖНЕЕ ПРОБЛЕМЫ, ЧЕМ ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ВОЙНЫ

Прогрессивные ученые всего мира начали проявлять тревогу и озабоченность с тех пор, когда стала очевидной возможность использования ядерной энергии для разрушения в неслыханных масштабах. Сейчас их тревожит тот факт, что в сложившейся в последнее время международной обстановке ядерную войну все чаще представляют как «мыслимую» возможность. Такого рода утверждения слышатся сегодня не только в среде американских политиков и военных. Так, в одном из своих интервью все тот же Теллер заявил, что ядерная война «не мыслима» и что распространенное мнение, будто она будет «концом всего», «ведет лишь к ослаблению западных демократий».

Казалось бы, какие логические доводы могут быть у Теллера, одного из наиболее осведомленных в этих вопросах физиков на земном шаре? И тем не менее из года в год он упорно твердит, что гонка вооружений открывает «свободному миру» единственную надежду выжить и что, напротив, все попытки обуздать такую гонку опасны для Запада и «льют воду на мельницу Советов». Приводимая Теллером оценка возможных потерь населения (5%) представляется невероятной и безответственной. Он даже решает на про-

паганду гипотез, выходящих за рамки его научной компетенции, утверждая, что радиация может оказаться не столь пагубной, как это пытаются сейчас утверждать. Между тем ученые, действительно компетентные в области генетики, предупреждают о вполне реальной возможности глобального вырождения человека как биологического вида в результате действия радиации, которая возникла бы от взрывов зарядов, накопленных уже сейчас.

*

Иногда ученых спрашивают, имея в виду атомные бомбы и прочие средства массового уничтожения: «Зачем вы все это придумали?» Положительная оценка науки в развитии цивилизации единодушна. Не нужно забывать, что атомная энергия — это не только бомба, но и атомные и термоядерные электростанции, наша энергетическая перспектива; ракеты — это не только стратегические средства доставки оружия, но и могучий способ познания природы, околоземного пространства; атомные двигатели стоят не только на подводных лодках, но и на мирных тружениках-ледоколах. Поэтому бессмысленно задавать и бесполезно ставить вопрос о закрытии той части науки, которая потенциально имеет отношение к войне. Наука все равно будет развиваться, следуя внутренним законам и логике познания, независимо от характера практических приложений. Так было и так будет.

Нужно добиться того, чтобы предотвратить нависшую над человечеством угрозу массового истребления, чтобы из лексикона навсегда ушло слово «война». Тогда никому из ученых, работающих в любой сфере фундаментальных исследований, не придется испытать на себе обезоруживающую наивность и непосредственность вопроса: «Зачем вы все это придумали?»

Современная космология

Я. Б. Зельдович



Яков Борисович Зельдович, академик, заведует отделом теоретической физики в Институте физических проблем им. С. И. Вавилова АН СССР, научный консультант в Институте космических исследований АН СССР, профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Автор фундаментальных работ в области физической химии, теории элементарных частиц, ядерной физики. Совместно с Ю. Б. Харитоном заложил основы теории цепной ядерной реакции; создал школу советских физиков в области теории горения, детонации и ударных волн. В последние годы активно разрабатывает проблемы астрофизики и космологии. Лауреат Ленинской и Государственных премий СССР, трижды Герой Социалистического Труда, иностранный член Лондонского королевского общества, Национальной академии наук США, почетный член Венгерской академии наук, Германской академии естествоиспытателей «Леопольдина», Американской академии наук и искусства в Бостоне. Неоднократно печатался в «Природе».

Космология — наука, исследующая Вселенную как целое, — пожалуй, самая трудная ветвь астрономии, так как при невозможности охватить наблюдениями всю Вселенную, всегда существует опасность заменить истинное знание предубеждениями. В последние десятилетия ситуация изменилась. Космология стала респектабельной наукой, чего не было 50—60 лет назад. Однако вопросы, связанные с рождением Вселенной, с тем, почему она именно такая, какой мы наблюдаем ее сейчас, все еще остаются нерешенными. Вместе с тем имеются определенные успехи в понимании современного состояния и ряда этапов эволюции Вселенной; эти успехи — результат работы многих людей, совместных усилий многих международных групп астрономов.

В этой статье мне кажется неуместным приводить точные ссылки на отдельные работы и устанавливать приоритеты. Поэтому в ней не будет названо других имен, кроме нескольких имен ушедших от нас великих ученых — А. Эйнштей-

на, Э. Хаббла, А. А. Фридмана, Дж. Джинса и М. Планка¹.

ИСТОЧНИКИ УСПЕХА

Прежде чем перейти к конкретным результатам, хотелось бы отметить три источника знания, три источника успеха, лежащих в основе современной космологии. Первый и самый очевидный — развитие наблюдений на базе классической оптической земной астрономии и радиоастрономии, обладающей особой чувствительностью, а также регистрация излучений высокой энергии с помощью космических аппаратов. В дальнейшем мы увидим, что играют роль не только возросшие точность и чувствительность различных методов, но и накопление большого массива наблюдений, что дает новые знания и ведет к новым обобщениям.

¹ Читателям, желающим более детально ознакомиться с историей вопроса и соответствующим математическим аппаратом, рекомендуем обратиться к сборнику трудов Я. Б. Зельдовича, готовящемуся к печати издательством «Наука». Сборник, выходящий в 1984 г., состоит из двух томов: «Химическая физика и гидродинамика» и «Частицы, ядра, Вселенная». (Прим. ред.)

В основу статьи положен доклад на XVIII Генеральной ассамблее Международного астрономического союза, сделанный в г. Патры (Греция) 23 августа 1982 г. Доклад опубликован на английском языке в Трудах ассамблеи.

Второй источник, питающий космологию,— физическая теория. Мы используем классические теории электромагнетизма и гравитации. Как хорошо известно, современной теорией гравитации является общая теория относительности Эйнштейна. Мы пользуемся квантовой теорией, в особенности теорией атомов, но также и квантовой теорией излучения; применяем теорию ядра, элементарных частиц и квантовую теорию поля. Объективно следует отметить, что требования современной космологии растут быстрее, чем экспериментальные знания. Поэтому приходится пользоваться также теориями, которые еще строго не обоснованы.

Наконец, своими успехами космология обязана научной смелости исследователей. Само изучение Вселенной как целого требует смелости: применимы ли законы, найденные в лаборатории, к бесконечной Вселенной, к ранним этапам ее развития, к гигантским энергиям, недоступным даже самым большим ускорителям; является ли Вселенная закрытой, конечной по объему, но без границ, или бесконечной? От таких вопросов захватывает дух.

До сих пор небесная сфера казалась нам образцом вечного покоя. Вращение Земли вызывает периодические изменения дня и ночи, смену времен года. Создается впечатление, что всегда «все возвращается на круги своя», и тем самым мы приходим к стационарной картине мира. Даже гений Эйнштейна был захвачен идеей стационарной Вселенной. Требовалась огромная смелость для математического исследования эволюционирующей и расширяющейся Вселенной, что впервые было сделано А. А. Фридманом в СССР и наблюдательно подтверждено Э. Хабблом. Признав работы Фридмана, Эйнштейн в дальнейшем твердо придерживался идеи расширяющейся Вселенной, однако сам Фридман умер в 1925 г., так и не узнав о научной революции, вызванной двумя его короткими статьями и, конечно, наблюдениями Хаббла.

Поистине необходима смелость, чтобы представить себе начальное состояние Вселенной, сжатой в точку, и оставаться верным физическим законам, ведущим к такой, казалось бы, абсурдной картине.

В последние несколько лет теоретическая космология развивается в двух направлениях. Одно включает детальное исследование той части Вселенной, которая располагается вокруг нас, с использованием новых математических идей — теории катастроф и синергетики, перколяции (про-

текания) и статистического подхода. Другое направление стремится изучать все более далекое прошлое, где мы встречаем условия, никогда не исследовавшиеся в лаборатории. Оно использует теории, не полностью обоснованные и доказанные сегодня, и нужно, я повторяю, обладать большой смелостью, чтобы делать это.

Однако сейчас космология начинает играть и другую роль: она позволяет проверять гипотезы, относящиеся к области физики высоких энергий, т. е. к экстремальным состояниям материи и пространства. Можно быть уверенным, что и впредь в течение многих столетий космология останется почвой, на которой будут появляться и подвергаться проверке новые физические идеи.

«БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ» И ПЕРИОДИЗАЦИЯ ЭВОЛЮЦИИ

Теория «Большого взрыва» в настоящий момент не имеет сколько-нибудь заметных недостатков. Я бы даже сказал, что она столь же надежно установлена и верна, сколь верно то, что Земля вращается вокруг Солнца. Обе теории занимали центральное место в картине мироздания своего времени, и обе имели много противников, утверждавших, что новые идеи, изложенные в них, абсурдны и противоречат здравому смыслу. Но подобные выступления не в состоянии препятствовать успеху новых теорий.

Оставляя детальное обсуждение на более поздние разделы статьи, сейчас я постараюсь дать общую картину эволюции Вселенной и выделить ее основные этапы. Такая периодизация изображена на рис. 1. По вертикальной оси отложено время в произвольных единицах. Разумеется, шкала неравномерная, так как невозможно уложить в равномерной шкале масштабы от 10^{-40} секунды до 10 млрд лет. По горизонтальной оси отложены расстояния. Идя снизу вверх, мы начинаем с «очень-очень ранней Вселенной», соответствующей времени меньше одной пикосекунды (10^{-12} с). Энергия частиц в этот момент значительно больше тех энергий, которые к настоящему времени удалось получить на лучших ускорителях.

«Очень-очень ранняя Вселенная» — это период, для которого мы используем экстраполяцию современных, хорошо установленных законов физики, хотя прекрасно понимаем, что надежность всякой экстраполяции неабсолютна. Но полная космологическая теория невозможна без

понимания этого этапа: именно тогда формировались начальные условия, важные для всех последующих стадий. Сейчас мы лишь пытаемся реконструировать эти начальные условия по современным наблюдательным данным. Существуют два подхода к этой проблеме. Первый — реконструкция начальных условий по современной картине Вселенной. Второй — получение начальных условий из общих принципов и уравнений физики. Второй подход более фундаментален, но и связан с большим риском допустить ошибку.

леосинтеза, — наибольший успех теории «Большого взрыва».

В процессе расширения Вселенной излучение и плазма медленно остывают. Третий период начинается, когда электроны и протоны образуют нейтральный водород. Мы называем этот период «прозрачной Вселенной»: почти все фотоны, имеющиеся в начальный момент периода «прозрачной Вселенной» или позже, без столкновений достигают верхней части нарисованной нами картины (см. рис. 1), где может находиться современный наблюдатель. Путь фо-

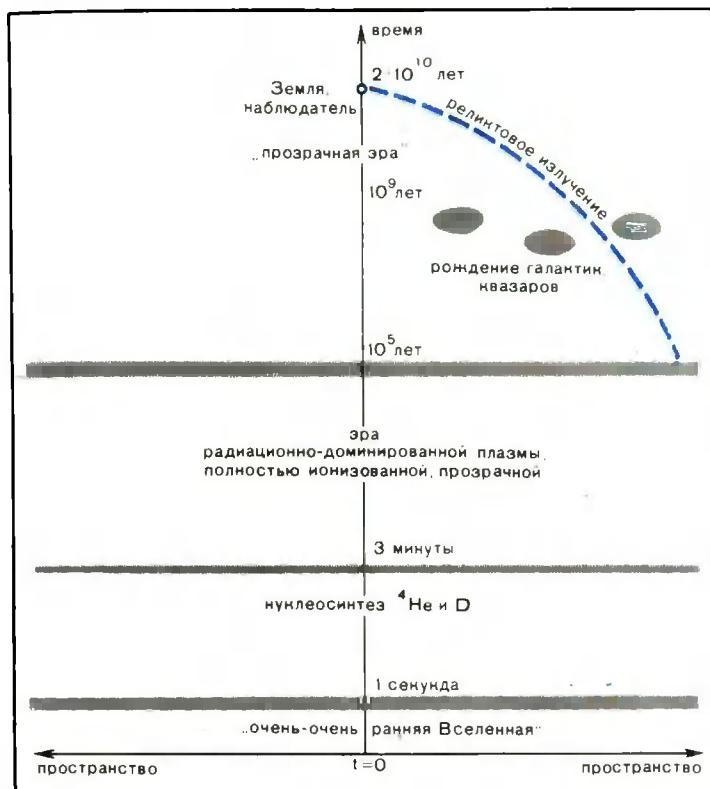


Рис. 1. Основные периоды в эволюции Вселенной. Пунктиром показан путь фотона в «прозрачную эру», когда отсутствует взаимодействие излучения с веществом.

Следующая после первой секунды фаза эволюции Вселенной — эра радиационно-доминированной плазмы, заканчивающаяся через 100 тыс. лет. Предполагая однородность Вселенной и принимая темп расширения, согласованный с современной ситуацией, мы можем рассчитать все процессы, происходящие в этот период. Наиболее важными среди них являются аннигиляция античастиц и нуклеосинтез. То, что результаты наблюдений количества водорода, гелия и других ядер совпали с тем, что было предсказано теорией нук-

тона показан линией, которая нигде не прерывается и не изламывается, так как практически отсутствует взаимодействие излучения с веществом. Наблюдая удаленные объекты, мы видим Вселенную такой, какой она была когда-то очень давно. (В частности, наблюдая космическое радиоизлучение, мы видим плазму в последний момент существования ионизованного водорода.) Именно в течение третьего периода происходит образование наблюдаемой в настоящее время структуры Вселенной; речь идет о превращении почти однород-

ного газа в звезды, сосредоточенные в галактиках, и о распределении галактик в пространстве.

«ПРОЗРАЧНАЯ ВСЕЛЕННАЯ»

Как известно, во Вселенной в целом отсутствуют резкие контрасты плотностей и нет доминирующего направления. Это означает, что в больших масштабах Вселенная однородна. Так, нет оснований считать, что положение нашей Галактики каким-то образом выделено; не существует также надежных доказательств наличия какой-то выделенной оси. Подсчеты радиогалактик, рентгеновских источников и квазаров свидетельствуют о сферической симметрии распределения вещества во Вселенной. С еще большей достоверностью известна сферическая симметрия (т. е. изотропия) реликтового излучения.

Расширение Вселенной установлено по наличию красного смещения в спектрах удаленных галактик, причем зависимость скорости расширения от расстояния (закон Хаббла) имеет линейный характер. Этот закон соответствует предположению об однородности и изотропии и содержится в решении Фридмана для нестационарной Вселенной. Однако с количественной точки зрения ситуация сложнее: первое определение постоянной Хаббла, данное автором закона, содержало большую ошибку (в 5—10 раз).

Темп расширения Вселенной связан с ее возрастом. В первом приближении возраст Вселенной равен расстоянию g до объекта, деленному на его скорость u . Закон $u=Hr$ приводит к $t=r/u=1/H$. Первое значение H , данное Хабблом, соответствовало возрасту Вселенной $2 \cdot 10^9$ лет, что сильно противоречило геологическому возрасту Земли — $4,6 \cdot 10^9$ лет, не говоря уже о возрасте шаровых скоплений — $(10—17) \cdot 10^9$ лет или возрасту Вселенной, получаемому с помощью ядерной космохронологии, — более $(8—13) \cdot 10^9$ лет. Новое значение константы Хаббла, принятое сейчас, снимает эти противоречия, но все еще остается не очень точным и колеблется между $50 \text{ км/с} \cdot \text{Мпс}$ и $100 \text{ км/с} \cdot \text{Мпс}$. Трудности в получении точного значения H связаны с определением расстояния до объекта, которое осуществляется через много промежуточных этапов. (В одной песне так поется про объяснение в любви: «И это серьезное дело нельзя поручать никому»). По-видимому, подобный принцип применим и к проблеме определе-

ния расстояния: необходим прямой способ, не зависящий от посредников.)

Возможно, измерения рентгеновского излучения от удаленных облаков ионизованного газа вместе с радиоастрономическими наблюдениями позволят непосредственно определять расстояния до этих облаков, даже до тех из них, которые находятся на расстояниях в несколько миллиардов световых лет и удаляются от нас со скоростью, близкой к скорости света. Определение скорости удаления объекта по его спектру не вносит большой ошибки. Поэтому, зная расстояние, можно определить постоянную Хаббла и сопоставить ее с возрастом известных астрономических объектов.

Идея нового способа состоит в том, чтобы установить угловое распределение и спектр рентгеновского излучения от облака ионизованного газа. По рентгеновскому спектру можно определить температуру электронов T_e . При заданной температуре рентгеновская яркость зависит от произведения $n_e R$, где n_e — плотность электронов, а R — радиус облака. С другой стороны, предлагается измерить влияние горячих электронов облака на спектр реликтового радиоизлучения. Частота фотонов реликтового излучения в среднем увеличивается; это приводит к уменьшению плотности низкочастотных фотонов и увеличению плотности высокочастотных. Изменение спектра при известной температуре пропорционально $n_e R$. Поэтому точные одновременные измерения рентгеновского и реликтового излучения от облака позволяют установить величины n_e и R в отдельности.

Определив R , мы получаем в свое распоряжение «стандартный метр». Реально угловые размеры облаков примерно равны нескольким минутам дуги, так что их легко измерить. Эти угловые размеры позволяют прямым методом определить расстояние до облака, если его собственный размер известен.

Наряду с постоянной Хаббла второй важнейшей величиной, характеризующей Вселенную, является ее средняя плотность, т. е. масса всех видов вещества, приходящихся в среднем на единицу объема. Какова плотность электронов (свободных и связанных), плотность тяжелых частиц (протонов и нейтронов) в свободном состоянии и связанных в ядрах, находящихся в звездах и в газовой фазе, какова плотность фотонов и нейтрино? Эти величины определяются как среднее число частиц, приходящихся на единицу объема. Не-

меньший интерес представляет плотность вещества (выраженная в граммах на кубический сантиметр), обусловленная каждой отдельной компонентой. Чтобы определить эти средние величины, нужно знать количество частиц, т. е. массу газа, заключенного в объеме, значительно превосходящем объем отдельной галактики и даже скопления галактик, а затем разделить найденные величины на суммарный (с учетом пространства между скоплениями) объем.

Количество частиц различных видов и их отношения важны для процессов, протекающих на уровне элементарных частиц, и в первую очередь — для нуклеосинтеза. Однако для Вселенной в целом, для ее геометрии и закона расширения более важна именно общая плотность вещества, т. е. граммы в кубическом сантиметре. Напомним, что в общей теории относительности кривизна пространства зависит от плотности. Если плотность меньше критической, Вселенная открытая, т. е. бесконечная, и в будущем будет неограниченно расширяться. Если плотность больше критической, Вселенная закрытая, т. е. в каждый момент времени трехмерное пространство конечно, хотя, безусловно, у него нет границ, так же как нет их, например, у двумерной поверхности сферы. В этом случае в будущем, вслед за фазой расширения, в которой мы сейчас живем, неизбежно произойдет общий коллапс — сильнейшее неограниченное сжатие. Хотя это случится нескоро (расширение в течение ближайших 20 млрд лет нам гарантировано), вопрос о далеком будущем, конечно же, является принципиально важным и волнующим.

Зависимость поведения Вселенной в будущем от средней плотности вещества в ней легко объясняется в рамках ньютоновской механики. Рассмотрим сферическую область Вселенной. Пусть радиус области равен R , тогда ее объем составляет $V = 4\pi R^3/3$; масса, заключенная внутри этого объема, $m = \rho V = 4\pi \rho R^3/3$, создает на поверхности сферы гравитационный потенциал $\phi = -Gm/R = -4\pi G \rho R^2/3$. Скорость расширения на поверхности сферы равна $v = HR$, а кинетическая энергия единицы массы записывается в виде $K = v^2/2 = H^2 R^2/2$. Характер эволюции области — бесконечное расширение или переход к сжатию в будущем — зависит от отношения кинетической энергии к потенциальной. При этом вещество, находящееся вне сферы, не влияет на движение во внутренней области. Это отношение $(H^2 R^2/2) : (4\pi G \rho R^2/3)$, как легко увидеть, не зависит от радиуса (пос-

ле сокращения получим $3H^2/8\pi G\rho$), и, следовательно, его можно записать в форме ρ/ρ_c , где $\rho_c = 3H^2/8\pi G = 5 \cdot 10^{-30}$ г/см³ при постоянной Хаббла $H = 50$ км/с · Мпс. Напомним, что при $\rho/\rho_c \leq 1$ Вселенная открытая, т. е. бесконечная, и будет расширяться всегда. Если же $\rho/\rho_c > 1$, Вселенная замкнута и расширение со временем сменится сжатием. Отношение ρ/ρ_c принято обозначать греческой буквой омега (Ω).

Теперь последовательно обсудим различные сорта частиц, заполняющих Вселенную. Начнем с электромагнитного излучения, которое можно рассматривать как набор частиц — фотонов. Неоднородные гравитационные поля галактик и их скоплений практически не влияют на движение фотонов, которые заполняют Вселенную равномерно. Согласно прямым измерениям трехградусного реликтового излучения, общий поток фотонов равен $1,3 \cdot 10^{12}$ 1/см² · с · стерад. Отсюда их концентрация равна 500 фотонов/см³, причем учитываются фотоны всех энергий, приходящие отовсюду. Поскольку средняя энергия фотона составляет 10^{-3} эВ $= 1,6 \cdot 10^{-15}$ эрг, то в соответствии с формулой $E = mc^2$ легко вычислить его массу: $m = 1,6 \cdot 10^{-15}/9 \cdot 10^{20}$ г $= 2 \cdot 10^{-36}$ г. Следовательно, плотность массы для газа фотонов равна $500 \cdot 2 \cdot 10^{-36}$ г/см³ $= 10^{-33}$ г/см³. Отсюда получаем очень малое значение безразмерного параметра плотности $\Omega_r = \rho/\rho_c = 0,0002$ (индекс r показывает, что величина Ω относится к излучению).

Теперь обратимся к более тяжелым частицам. Первые оценки плотности барионов были выполнены с помощью методов классической астрономии, т. е. путем подсчета звезд, а затем — с помощью небесной механики, из анализа движения звезд в галактиках. Были получены низкие значения плотности — от 10^{-31} до $5 \cdot 10^{-31}$ г/см³, что соответствует 0,05—0,2 атомов/м³, т. е. меньше одного атома в кубическом метре (заметьте, в кубическом метре, а не в кубическом сантиметре!). Итак, число фотонов гораздо больше числа барионов в равном объеме, но фотоны настолько «легки», что приоритет по весу отдается барионам. Не могут ли, однако, барионы скрываться в других формах небесных объектов, например в виде слабых звезд или межгалактического газа?

В связи с этим особенно важно, что теория «Большого взрыва» дает новый, совершенно независимый от предыдущего, способ определения общей плотности барионов, притом суммарной — в светящихся и мертвых звездах, в планетах и газе. Тео-

рия нуклеосинтеза предсказывает определенную зависимость распространенности первичных ${}^4\text{He}$ и D от плотности барионов в исходной плазме (рис. 2). Основываясь на наблюдательных данных, согласно которым концентрации гелия и дейтерия находятся в диапазонах $0,21 < {}^4\text{He} < 0,25$ и $10^{-5} < \text{D} < 3 \cdot 10^{-4}$, получаем, что безразмерная плотность барионов Ω_b должна составлять $0,03 - 0,06$. В результате данные, полученные из подсчетов звезд и движения галактик, подтверждаются совершенно независимым методом. Впрочем, здесь

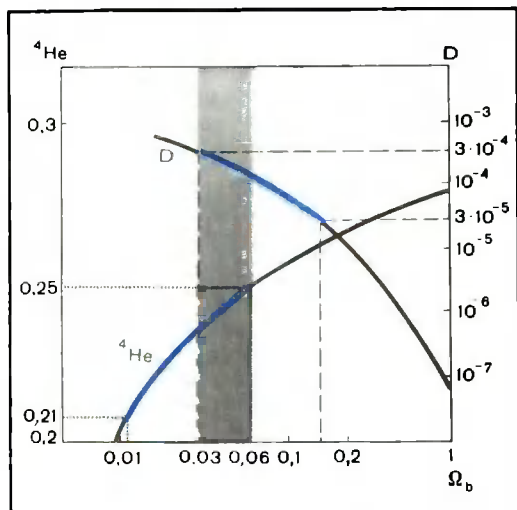


Рис. 2. Зависимость распространенности первичных ${}^4\text{He}$ и D [т. е. отношения массы гелия или дейтерия к суммарной массе барионов] от относительной плотности барионов $\Omega_b = \rho/\rho_c$ в исходной плазме. Цветом показаны участки графика, соответствующие допустимым значениям ${}^4\text{He}$ и D ; $H=50$ км/с · Мпс; закрашенная область — допустимые значения Ω_b .

нужна осторожность. В настоящее время исследуется вопрос о том, не может ли часть гелия расщепляться, а часть дейтерия рождаться при каких-то мощных астрофизических воздействиях, не существует ли какого-либо механизма обогащения межзвездного газа дейтерием. Однако пока общепринятой точку зрения можно считать более вероятной.

Итак, безразмерная плотность барионов Ω_b много меньше единицы. Отсюда первое естественное предположение: Вселенная открыта и будет расширяться всегда. Но такой категорический вывод был бы преждевременным. Многие астрономические данные свидетельствуют о существовании некоторой «скрытой» массы. Так,

масса больших скоплений галактик, по-видимому, существенно превосходит сумму масс отдельных галактик, составляющих эти скопления. Другие свидетельства обсуждаются в следующей главе и касаются происхождения крупномасштабной структуры Вселенной. Предположение о скрытой массе означает, что вопрос, является ли Вселенная открытой или замкнутой, остается нерешенным. К сожалению, не существует простого метода, позволяющего ответить на этот вопрос. Единственное, что установлено в настоящее время: скрытая масса не должна состоять из барионов.

Быть может, важнейшую роль здесь играют нейтрино. Процессы, протекавшие в первые секунды после начала расширения, несомненно, должны были привести к тому, что в современной Вселенной почти так же много нейтрино, как и фотонов: 75 нейтрино и 75 антинейтрино каждого вида в 1 см^3 , что для трех видов нейтрино составляет $450 \nu/\text{см}^3$; как видим, это мало отличается от 500 фотонов в 1 см^3 . Если масса покоя нейтрино равна нулю, то их вклад в суммарную плотность вещества примерно равен плотности излучения; так что $\Omega_\nu = \Omega_\gamma = 0,0002$. Это не решает проблемы скрытой массы и практически не меняет суммарной плотности. Однако даже очень малая масса покоя одного из видов нейтрино (в 25 000 раз меньшая массы покоя электрона) радикально меняет всю картину. Такой массы было бы достаточно, чтобы Вселенная стала закрытой. Конечно, это было бы очень странная Вселенная: наиболее многочисленными в ней были бы фотоны и нейтрино, при этом нейтрино составили бы 97% массы, а на долю обычного вещества пришлось бы всего 3% массы. При этом легкие и слабо взаимодействующие нейтрино могут окружать и пронизывать галактики; локально их плотность может достигать величины 10^{-27} г/см^3 . Однако для нейтрино совершенно недопустимы процессы, связанные с теплоотдачей, которые приводят к образованию звезд и планет с плотностью $1-100 \text{ г/см}^3$ и выше. В пределах орбиты Земли общая масса нейтрино в 10^{20} раз меньше массы обычного вещества, сосредоточенного в Солнце и планетах. Экспериментальное обнаружение тяжелых нейтрино на Земле или в ее ближайшей окрестности было бы поистине экспериментом века!

Современная физика уже вполне охотно приписывает нейтрино малую массу покоя, хотя и не дает определенного числа. По-видимому, нужна космологии мас-

са нейтрино подтверждается экспериментами, проведенными в Москве. Кроме того, имеются предположения, что существуют некоторые другие еще не обнаруженные частицы, которые могут играть заметную роль. Отсутствие полной ясности в вопросе о скрытой массе, возможно, продолжится еще 5—10 лет. Поэтому нужно еще раз подчеркнуть, что важнейшие результаты теории горячей Вселенной, касающиеся нуклеосинтеза, радиационно-доминированной плазмы, рекомбинации электронов и протонов, составляющие основу современной космологии, не зависят от неопределенностей, связанных со скрытой массой и проблемой массы покоя нейтрино.

СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ И ЕЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ

В настоящее время во Вселенной звезды собраны в галактики, которые, в свою очередь, распределены в пространстве неравномерно. С другой стороны, все измерения реликтового излучения до сих пор не обнаруживали каких-либо различий в его температуре в разных направлениях. Теория и наблюдения свидетельствуют в пользу модели почти однородной Вселенной. Основополагающая идея, которая совмещает почти однородную Вселенную на стадии, определяющей реликтовое излучение, и неоднородную Вселенную сегодня, состоит в том, что в ней действует гравитационная неустойчивость. В ранней Вселенной, когда доминировало излучение, существовали некоторые малые возмущения плотности.

На ранних стадиях горячей Вселенной давление излучения препятствовало развитию гравитационной неустойчивости до тех пор, пока существовала ионизованная плазма. В момент рекомбинации электроны присоединились к протонам и образовались нейтральные атомы, которые практически не взаимодействуют с излучением. Нейтральный газ в полной мере испытывает действие гравитационной неустойчивости — именно к периоду «прозрачной Вселенной» мы относим рост возмущений.

Давлением нейтрального газа можно пренебречь. Конечно, это утверждение не является абсолютным: давлением газа можно пренебречь в том случае, когда длина волн возмущения плотности достаточно велика. Именно такое наследство оставила нам радиационно-доминированная эра. Но если давление не играет роли, то движение

газа оказывается очень специфическим: ничто не препятствует частицам сблизиться и сформировать области высокой плотности. В трехмерном пространстве газ можно сжать в каждом из трех независимых, перпендикулярных друг к другу направлений. Однако одновременное сильное сжатие вдоль двух или трех осей происходит очень редко, это нехарактерное явление. Как правило, в каждом элементарном объеме существует какое-то свое одно, выделенное направление.

Сжатие в этом направлении приводит к образованию тонких слоев, плотность в которых высока (их в шутку называют «блинами»). Следующие порции газа, сталкивающиеся с «блином», нагреваются в ударной волне, т. е. «влипают». Кроме того, «блины» растут в направлении своей плоскости. Конечно, они не абсолютно плоские, но это не столь важно. На поздней стадии «блины» начинают пересекаться, и в результате формируется сложная ячеистая структура, где слои сжатого газа окружены сильно разреженными областями.

Подобная общая картина ячеистой структуры Вселенной подтверждена численными расчетами, а также глубоким математическим анализом, основанным на теории катастроф и синергетике. Установлена аналогия между гравитационной неустойчивостью и законами геометрической оптики для света, отраженного или преломленного случайными волнами на поверхности воды. (В солнечный день на дне бассейна можно наблюдать картины, похожие на те, что предсказывает теория «блинов».) Очевидно, галактики должны рождаться в сжатом газе, слои которого еще сильнее подвержены действию дальнейшего гравитационного сгущения.

Насколько эта теоретическая картина соответствует реальности? В последние пять лет мы сильно продвинулись в получении ответа на этот вопрос. Примерно для 10 тыс. галактик измерены красные смещения. Пользуясь законом Хаббла, можно найти расстояния до этих галактик. Таким образом мы узнаем истинную трехмерную структуру Вселенной, а не только ее двумерную проекцию.

Как охарактеризовать эту структуру количественно? Известно, что существует положительная корреляция галактик и скоплений галактик: вероятность обнаружить галактику вблизи другой галактики больше вероятности обнаружить ее в произвольной точке объема. Это увеличение вероятности убывает с расстоянием. Исследование по-

добной зависимости оказалось весьма полезным для установления характерного масштаба структуры Вселенной. Для галактик такой масштаб составил 10 Мпс, а для скоплений галактик — 50 Мпс. Однако в связи с теорией «блинов» возник новый вопрос — проблема распознавания образов. Попробуем проиллюстрировать ее рисунками, на которых рассматривается распределение точек в двумерном пространстве.

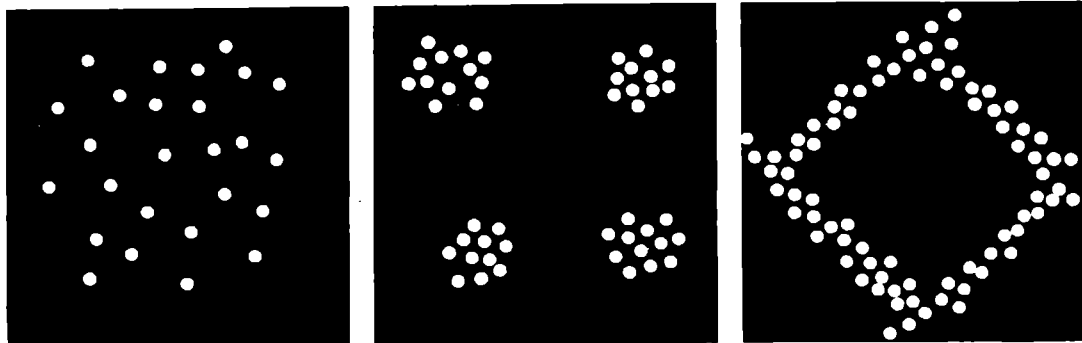


Рис. 3. Различные типы распределения точек в пространстве (иллюстрация к проблеме распознавания образов): слева — случайное распределение, для которого корреляция равна нулю; в центре — точки объединены в группы; справа — точки расположены вдоль линий. В двух последних случаях корреляция положительна.

На рис. 3, слева, изображено случайное распределение точек. Здесь корреляция равна нулю, нет и структуры. На рис. 3, в центре, точки объединяются в группы. Другой вариант расположения точек показан на рис. 3, справа, где точки располагаются вдоль линий. В первом случае корреляция равна нулю — таково определение случайного распределения. В остальных двух случаях она положительна, но ясно, что эти случаи весьма различны.

Удобный объективный критерий такого различия, выявляющий именно структуру, был найден в 1982 г. Применение его к действительному трехмерному распределению галактик в пространстве, по-видимому, подтверждает наше заключение о том, что в реальной Вселенной галактики и их скопления располагаются на двумерных поверхностях в виде нитей, состоящих из галактик, т. е. по типу рис. 3, справа, точнее, его обобщения на трех-

мерное пространство. Другим подтверждением развиваемой картины является обнаружение огромных пустот, черных областей, лишенных галактик, с характерным размером 50—100 Мпс. Очевидно, они не совсем пустые, в них имеется газ, но этот газ в «пустотах», по-видимому, никогда не превращался в звезды. Все это подтверждает идеи гравитационной неустойчивости Вселенной и нелинейного характера ее расширения на последних стадиях эволюции.

Конечно, не исключено, что важную роль мог играть другой механизм — взрывы сверхновых звезд. Возможно, эти взрывы сжимали окружающий газ, что, в свою очередь, приводило к увеличению скорости образования звезд. Массивные звезды эволюционировали быстро, с характерным временем эволюции около 1 млн лет, если считать от момента, когда звезда рождалась под влиянием взрывов сверхновых. Затем взрывалось новое поколение звезд и т. д. Возможно, совокупность этих событий порождала ударную волну, энергия которой пополнялась за счет энергии многих звезд, т. е. создавалась своеобразная детонация. Авторы этой теории объясняют существование межгалактических пустот как результат многочисленных взрывов сверхновых, рождающих ударные волны, которые и выметают вещество. Но даже если взрывы сверхновых и играли существенную роль на последних этапах, все-таки толчком к образованию первых сжатых газовых облаков и первых звезд должна была послужить гравитационная неустойчивость.

Отметим общие трудности всех современных теорий, пытающихся объяснить образование структуры Вселенной. Существует количественное несоответствие в «наивной» картине проявления гравита-

ционной неустойчивости, которое связано с низкой плотностью вещества (Ω_b). Выше отмечалось, что безразмерная величина Ω_b заключена в пределы: $0,02 < \Omega_b < 0,10$. Во Вселенной со столь низкой плотностью вещества необходимы большие начальные возмущения, так как рост возмущений в этом случае происходит сравнительно медленно. Поэтому малое значение Ω_b приводит к необходимости существования больших начальных флуктуаций плотности в момент, когда Вселенная становится «прозрачной». В этом случае велики и флуктуации космического фонового излучения, что противоречит наблюдениям.

Чтобы избежать подобного противоречия, снова необходимо предположить существование скрытой массы, состоящей не из барионов. Этот косвенный аргумент в пользу наличия скрытой массы кажется мне по крайней мере столь же сильным, как и те аргументы, которые следуют из изучения движения галактик и их скоплений. Итак, мы снова приходим к идее массивных нейтрино, на долю которых падает от 90 до 98% общей массы Вселенной, т. е. к идее «нейтринной Вселенной».

Эволюция возмущений в «нейтринной Вселенной» происходит следующим образом. Нейтрино с массой, скажем, около 25 эВ становятся нерелятивистскими (скорость их движения падает до значения, которое меньше скорости света) после того, как температура плазмы станет меньше 100 000 К. С этого момента начинается рост возмущений нейтринной плотности. Отметим, что в течение большого промежутка времени, когда температура плазмы уменьшается от 100 000 до 3000 К, плазма все еще остается полностью ионизованной и поэтому почти не подвергается возмущениям. После того как образуются нейтральные атомы, они начинают сжиматься под воздействием гравитационного поля нейтрино. Возмущения плотности нормального вещества вскоре достигают того же уровня, что и нейтринные возмущения. В то же время возмущения излучения остаются малыми, так что исчезает противоречие между существованием структуры Вселенной и наблюдаемым низким верхним пределом для возмущений космического фонового излучения.

Весьма счастливым совпадением является применимость практически всех выводов теории — образование «блинов», ячеистая структура, теория «протекания», предсказание «пустот» — для случая «нейтринной Вселенной». Это непростое совпадение. Общие свойства зависят от гравитации,

которая в обоих случаях — для обычной и «нейтринной Вселенной» — является первопричиной эволюции. Современная структура Вселенной, каким бы ни было ее происхождение, несомненно, соответствует определенному промежуточному этапу эволюции на пути от почти равномерно распределенного газа к гигантским скоплениям галактик. Развитие астрономической техники, и в частности выведение большого оптического телескопа на орбиту, возможно, позволит найти тот момент в прошлом, когда рождалась эта структура, возникали первые галактики. Любопытно, что жизнь на Земле зародилась относительно рано, очень скоро после образования планеты, возникновения суши и океана.

Для создания полной и надежной картины эволюции структуры Вселенной необходима еще большая работа. Физики должны измерить массы нейтрино всех сортов. Кроме того, нужно знать, существуют ли другие частицы, дающие заметный вклад в плотность Вселенной. Требуется проделать большое количество численных расчетов в теории гравитационного сжатия, тепловых процессов образования звезд первого и второго поколений и т. д. Некоторый прогресс, достигнутый сейчас в понимании крупномасштабной структуры Вселенной, не должен затмевать той массы вопросов, на которые еще нет надежного ответа.

БАРИОННАЯ АСИММЕТРИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Во Вселенной существует вещество и практически отсутствует антивещество. Это хорошо установленный факт, тем более удивительный, что свойством вещества и антивещества присуща симметрия.

Итак, из наблюдений известно, что во Вселенной протоны существуют, а антипротоны практически нет. Из физических экспериментов мы знаем, что протоны остаются стабильными даже в течение космологических промежутков времени. Поэтому отношение числа протонов к числу фотонов, равное в современную эпоху 10^{-9} , мы можем без опасений экстраполировать на области, сильно удаленные от нас в пространстве и во времени. Теория «горячей Вселенной» использует представление о плазме, для которой сейчас характерно приблизительно следующее соотношение числа частиц в единице объема

$$p:e:\gamma:v=1:1:10^9:10^9.$$

Это отношение сохраняется, т. е. остается постоянным для поздних периодов — радиационно-доминированной эры, образования структуры Вселенной, рождения галактик и звезд. На последнем этапе существенно, что мы говорим о числе частиц, усредненном по огромным объемам. Локально же, например для земного шара, имеет место сильнейшая концентрация барионов и электронов.

Ситуация существенно изменяется только для космологических времен порядка одной секунды и менее. При температуре, равной или выше массы покоя протона, должно существовать большое количество пар протон-антипротон, находящихся в равновесии с фотонами и другими частицами. Но удивительно, что при этом все же должен иметь место небольшой избыток протонов над антипротонами, причем такой, чтобы после стадии охлаждения и аннигиляции можно было получить небольшое количество протонов, соответствующее их современному количеству.

Если двигаться от низких температур к высоким, то сначала, с приближением к нескольким миллиардам градусов, появляется большое число позитронов и равное им число электронов. При этом строго выполняется принцип электронейтральности Вселенной: Вселенная нейтральна сейчас (иначе неизбежно возникло бы огромное электрическое поле), Вселенная была нейтральна и раньше — по закону сохранения электрического заряда — при наличии электронно-позитронных пар.

Еще раньше, при еще более высокой температуре, в плазме должны были присутствовать — в соответствии с законами термодинамического равновесия — и другие частицы и античастицы. В частности, должны были существовать протоны и антипротоны, а также нейтроны и антинейтроны. Поскольку, согласно современной теории, протоны и нейтроны состоят из кварков, то при высокой температуре в плазме было множество кварков и их античастиц — антикварков.

До настоящего времени никогда не наблюдалось нарушения закона сохранения барионного заряда. Если сегодня мы наблюдаем относительно малое число барионов и не находим антибарионов, то это означает, что в далеком прошлом плазма содержала небольшой избыток частиц над античастицами, примерно в соотношении $1\,000\,000\,001 : 1\,000\,000\,000$. Не правда ли, странное соотношение? Возможное объяснение происхождения этого малого избыт-

ка² состоит в том, что существуют очень тяжелые частицы, способные распадаться как на кварки, так и на антикварки. Предполагается, что вероятности распада по каждому из этих двух каналов несколько различаются. Масса тяжелых частиц равна 10^{14} масс протона; существуют они при сверхвысокой температуре в очень ранний период (время порядка 10^{-35} с). Позже, в процессе расширения Вселенной и понижения температуры, эти частицы распадаются и исчезают, создавая, однако, некоторый небольшой избыток кварков.

Заметим, что сделанное в начале предположение о разной вероятности распада таких частиц по двум каналам означает отказ от точной симметрии всех законов природы относительно замены частиц на античастицы. Асимметрия такого рода действительно наблюдается в некоторых лабораторных опытах. Однако предположение о том, что один канал распада дает именно кварки, а другой — антикварки, означает несохранение барионного заряда. Если это предположение правильно, то не исключено и превращение, например, протона в позитрон и фотоны. Усиленные поиски такого процесса до настоящего времени (т. е. до июня 1983 г.) не увенчались успехом.

Мы не отказываемся от исходных принципов. Более того, сегодня, пожалуй, именно космология является наиболее убедительным аргументом в пользу несохранения барионного заряда. Вместе с тем становится ясно, что количественная теория, подтвержденная прямым опытом, — дело будущего. Такой теории сегодня еще нет!

«ИНФЛЯЦИОННЫЙ» ПЕРИОД «ОЧЕНЬ-ОЧЕНЬ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ»

Позвольте до конца главы отложить объяснение необычного для астрономии термина «инфляция», проклинаемого в ежедневной жизни, но имеющего счастливую судьбу в космологии.

Предположим, что на стадии «очень-очень ранней Вселенной» уравнение состояния (т. е. соотношение между давлением и плотностью) было весьма специфическим:

$$p_0 = \varepsilon_0 = -\rho_0 c^2 \approx -(10^{80} - 10^{90}) \text{ эрг/см}^3,$$

² Более подробное изложение этого вопроса см.: Зельдович Я. Б., Долгов А. Д. Барионная асимметрия Вселенной. — Природа, 1982, № 8, с. 33.

где p — давление, ε — плотность энергии, ρ — плотность массы, c — скорость света. (В дальнейшем для краткости вещество в таком необычном состоянии будем называть «состоянием».) Итак, предположим, что плотность энергии высокая и положительная, хотя и не связана с высокой температурой или большой плотностью протонов, а давление отрицательное. Это не так необычно, как кажется на первый взгляд: такая ситуация имеет место и в повседневной жизни. Так, например, в растянутом твердом теле давление отрицательно. В жидкостях также можно поддерживать отрицательное давление, если поверхностное натяжение и сцепление со стенками препятствуют формированию пузырей. Но вещество в состоянии со столь большим по величине растяжением $p = -\varepsilon$, несомненно, необычно; оно еще не было обнаружено экспериментально, хотя и предсказывалось современной теоретической физикой для некоторых специальных ситуаций.

Я опишу важность и пользу этого предположения для космологии, опуская объяснение того, как физики (совершенно независимо от космологов) приходят к столь необычному уравнению состояния. Его наиболее важное свойство заключается в том, что такое состояние является самосогласованным, поддерживаемым в расширяющейся Вселенной с постоянными значениями p_0 , ε_0 , ρ_0 . Сравним вещество в этом состоянии с привычной материей или плазмой. Плотность материи уменьшается при расширении — и это нормально, поскольку объем увеличивается. Плотность плазмы с $p = \varepsilon/3$ убывает еще быстрее: при расширении плазма совершает работу и затрачивает энергию.

Но плотность «состояния» не меняется: расширение при отрицательном давлении связано с совершением работы за счет внешних сил, и эта работа достаточна, чтобы компенсировать увеличение объема. В математических (достаточно простых) терминах первый закон термодинамики (локальный закон сохранения энергии) записывается так: $dE = -pdV$, где $E = \varepsilon V$. Очевидно, при $p = -\varepsilon$ мы получаем $d(\varepsilon V) = \varepsilon dV$, что согласуется с $d\varepsilon = 0$, т. е. $\varepsilon = \text{const}$.

Если читатель спросит, что (или кто) в конце концов совершает работу, я буду отвечать, основываясь на точке зрения глобального сохранения энергии всей Вселенной. Возьмем закрытую Вселенную: ее полная энергия равна нулю и остается нулевой независимо от радиуса и объема Вселенной. Нулевая полная энергия Вселенной

имеет простой смысл: сумма положительных энергий вещества, заполняющего все элементарные объемы, в точности компенсируется отрицательной энергией гравитационного взаимодействия. Замкнутая Вселенная с радиусом, изменяющимся как $R = ch(H_0 t)/H_0$, является точным решением для пространства, целиком заполненного «состоянием»³. При этом $H_0 = \sqrt{8\pi G \varepsilon_0 / 3c^2}$, ε_0 и H_0 — постоянны. В таком варианте минимальный радиус Вселенной составляет $10^{-28} - 10^{-32}$ см (рис. 4). Что бы сказал

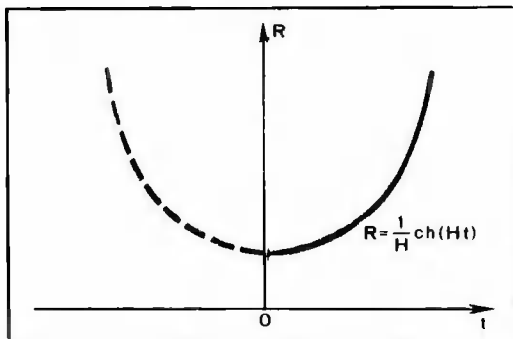


Рис. 4. Изменение радиуса Вселенной R в зависимости от времени t в замкнутой Вселенной («инфляционная эра»); H — постоянная Хаббла.

о подобном состоянии человек, который «Вселенную в ореховой скорлупе» (т. е. размером в несколько сантиметров) уже посчитал безумным нарушением здравого смысла?

Закон расширения необычен: начиная от минимального радиуса расширение стремится идти по экспоненциальному закону, что аналогично росту цен с постоянной годичной скоростью инфляции. (Отсюда и название «инфляционная Вселенная».) Дело еще в том, что в общей теории относительности ускорение силы тяжести зависит не просто от массы вещества, деленной на квадрат радиуса (т. е. произведения плотности на объем). В соответствующей

³ Обратите внимание: радиус пропорционален так называемому гиперболическому косинусу, $ch(Ht) = [\exp(-Ht) + \exp(+Ht)]/2$; это функция, которая при изменении t от $-\infty$ до $+\infty$ сначала убывает от $+\infty$ до 1, а затем возрастает от 1 до $+\infty$. Мы пользуемся именно второй, возрастающей частью: от $t=0$ до определенного $t > 0$.

щую формулу вместо плотности ρ входит сумма $(\rho + 3p/c^2)$, где p — давление, а c — скорость света. В обычной ситуации вторым членом можно пренебречь. Но для «состояния» с отрицательным давлением при $|p| = \rho c^2$ в скобках получается отрицательная сумма! Именно так, с ускорением, зависящим от замены притяжения на отталкивание, происходит расширение на очень ранней стадии эволюции Вселенной. Ясно, однако, что в какой-то момент нужно перейти на рельсы обычной Фридмановской модели, с горячей плазмой и замедляющимся расширением.

Здесь помогает тот факт, что «состояние» внутренне неустойчиво; это очевидно с точки зрения механики: вещество при растяжении может разорваться. Такое состояние не является равновесным, оно в лучшем случае метастабильно. Согласно принципу максимума энтропии, превращение такого «состояния» в обычную плазму с той же положительной энергией и соответствующей высокой температурой и большой энтропией необратимо, или как принято говорить, термодинамически выгодно.

Совершенно очевидно, что в настоящее время мы живем не во Вселенной, наполненной «состоянием». Экзотическое, метастабильное инфляционное решение привлекается только в качестве первого шага. В дальнейшем «инфляционная Вселенная» должна перейти в «полунормальную» радиационно-доминированную, а свою очередь, преобразующуюся во Вселенную с доминирующей ролью вещества (или нейтрино), в которой мы живем сейчас. Поэтому главными вопросами являются следующие: как долго тянется «инфляционная» эра и каков точный механизм преобразования «состояния» в излучение?

Эти вопросы лишь едва разработаны высоколбыми⁴ теоретиками. Сейчас с известной уверенностью можно сказать, что желательна, точнее, даже необходима весьма длительная «инфляционная» фаза, чтобы объяснить те свойства современной Вселенной, которые мы наблюдаем. Условие большой длительности имеет вид $y = H_0 t \geq 70$; отсюда $t \sim 10^{-36}$ с — малая величина по сравнению с привычными временными интервалами. Но величина

$ch(H_0 t) \simeq e^{H_0 t}$ при этом окажется больше 10^{30} , т. е., начав с размеров менее 10^{-30} см, удается достичь расстояний, превышающих радиус ореховой скорлупки.

Отметим, что скорость расширения пропорциональна производной от $ch(H_0 t)$, т. е. $sh(H_0 t)$. Потенциальная и кинетическая энергия любой малой части Вселенной ведут себя подобно $ch^2(H_0 t)$ и $sh^2(H_0 t)$ соответственно, и их разность остается постоянной. Но эта разность в момент окончания «инфляционной» фазы очень мала по сравнению с самими значениями потенциальной и кинетической энергий. Таким образом, в тот момент обе энергии с большой точностью были равны друг другу, что и позволяет Вселенной расширяться до настоящего дня. (См. раздел о плотности и определение ее критического значения.)

Второй вопрос, который, возможно, позволит решить инфляционная теория, связан с однородностью Вселенной. Точки, которые сильно разнесены на небе сейчас, находились на достаточно малых расстояниях друг от друга в момент, когда начиналось инфляционное расширение. Следовательно, мы можем представить себе, чем обусловлена однородность мира. С другой стороны, волны возмущений, возникшие во время инфляционного режима и в процессе перехода в нормальную радиационно-доминированную Вселенную (или Вселенную Фридмана), должны обеспечить начальные возмущения, необходимые, чтобы создать наблюдаемую сегодня структуру. До сих пор никто не предложил теории, дающей исчерпывающие ответы по всем этим проблемам.

Однако космологическая привлекательность «инфляционной» эры столь велика, что сейчас эту теорию можно рассматривать как подарок, который космология преподнесла физикам-теоретикам.

КВАНТОВОЕ РОЖДЕНИЕ

Мы обсудили космологическое решение, начинающееся как закрытый мир, заполненный «состоянием» с большой положительной плотностью энергии ϵ_0 и соответствующим отрицательным давлением $p_0 = -\epsilon_0$. Свои рассуждения мы начали с минимального радиуса $R_0 = 1/H_0$ в момент покоя в точке $t=0$, $R=R_0 \ ch(H_0 t)$. Нетрудно предугадать следующий вопрос читателя: а что же было еще раньше? Конечно, можно экстраполировать решение на отрицательные t вплоть до $t=-\infty$,

⁴ Это условный перевод английского термина *highbrow*, в котором соединяется уважение к высокой квалификации этих исследователей и сожаление, связанное с тем, что простые земные научные проблемы их обычно не интересуют.

но это нефизично, поскольку вещество с отрицательным давлением неустойчиво. Возможно, предшествующая стадия была горячей с нормальным уравнением состояния $p = \varepsilon/3 \neq \text{const}$ и фридмановским решением $R \sim \sqrt{t - t_s}$ (рис. 5). Но это означает, что в какой-то момент t_s радиус Вселенной был настолько мал, а скорость расширения настолько велика, что классическая общая теория относительности была неприменима. Подобную ситуацию обычно называют сингулярностью. Делалось много попыток избежать ее.

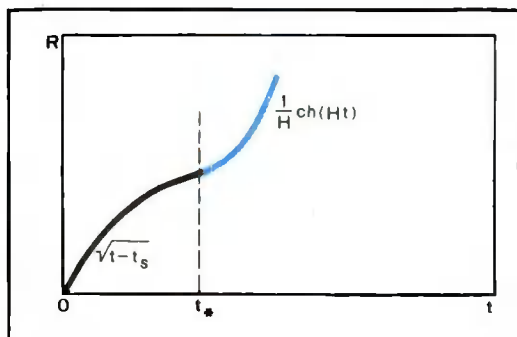


Рис. 5. Зависимость $R(t)$ на стадии, предшествовавшей инфляционной эре; t_s — момент, в который R настолько мал, а скорость расширения настолько велика, что классическая общая теория относительности еще не применима; с момента t_s начинается «инфляционная эра».

Другой подход заключается в предположении, что из квантовой гравитации будет следовать возможность квантового рождения Вселенной, ее создания «из ничего». При всей неопределенности подобных предсказаний, основанных на еще несуществующей теории, все же могут быть полезны два аргумента. Первый: общая энергия закрытого мира есть нуль, рождение этого мира не нарушает закона сохранения энергии. Второй: нет строгого сохранения барионного заряда, следовательно, новорожденная Вселенная может быть зарядово-симметричной, с барионным избытком, появившимся позже. Поэтому если квантовое рождение и не доказано, то надо признать, что не существует законов сохранения, которые бы запрещали квантовое рождение «из ничего».

Другая часто упоминаемая идея — это антропоцентристский принцип, согласно которому существует много вселенных, и мы живем в той из них, которая оказалось пригодной для зарождения жизни и эволюции от аминокислот до цивилизованного человека (на что потребовалось несколько миллиардов лет). Этот принцип накладывает определенные ограничения на величины постоянной Хаббла и плотности материи. Но тут мы рискуем быстро перейти от науки к размахиванию руками⁵.

ЗАДАЧИ ФИЗИКИ

Итак, взаимосвязь физики и космологии очевидна. Поэтому можно сказать, что космология станет законченной лишь тогда, когда физика даст исчерпывающий ответ на все поставленные космологией вопросы. Спектры атомов или вероятности ядерных реакций мы рассчитываем, исходя из экспериментальных данных, полученных в лаборатории, например из данных о массе электрона, массе протона, энергии связи протонов и нейтронов в ядрах. На этом уровне иногда возникает вопрос: действительно ли постоянны эти величины? Не обусловлены ли они тем, что лишь при определенных значениях этих величин звезды будут синтезировать углерод, кислород и азот, а на планетах (или на одной нашей планете) сможет возникнуть жизнь?

Я глубоко убежден, что в будущем теория позволит рассчитать все константы физики так, как геометрия позволяет найти отношение длины окружности к диаметру, т. е. число π . Значение этого числа не зависит от того, «полезно» или «вредно» это значение, оно одинаково в малой части любого искривленного пространства и не зависит от времени. Сегодня мы можем сказать то же самое об отношении частот разных спектральных линий лаймановской и бальмеровской серий водородоподобных атомов и, с несколько большей затратой труда, — о других атомах и ионах. Не за горами то время, когда благодаря прогрессу квантовой хромодинамики и вычислительной техники такого же уровня достигнет и ядер-

⁵ Впрочем, еще в большей степени я не одобряю совершенно произвольные сверхнизкие оценки вероятности зарождения жизни (10^{-40000}), используемые как аргумент против космологии горячей Вселенной.

ная физика. Еще не ясно, можно ли из теоретических соображений получить значения масс всех элементарных частиц и безразмерных зарядов, но ведь до конца века остается больше 15 лет!

Наконец, одну из проблем следует упомянуть особо. Речь идет о космологической постоянной, или, другими словами, о чрезвычайно низком уровне плотности энергии $\varepsilon_{\min}$ в плоском пространстве. В классической физике естественно положить ее равной нулю. Однако этого нельзя сделать в квантовой физике. Мы знаем, что $\varepsilon_{\min} < 10^{-10}$ эрг/см³, но это утверждение основывается только на космологических наблюдениях. Случай $\varepsilon_{\min} = 0$ не исключается, но у нас отсутствуют фундаментальные доказательства или теоретические вычисления, подтверждающие его существование. Это, в частности, демонстрирует неполноту современной фундаментальной физики. Вообще, в лабораторном подтверждении, хотя бы косвенном, нуждается ряд предположений двух предыдущих разделов.

Существует много других удивительных вещей, которые, в принципе, могут иметь место (в согласии с идеями современной физики). Таково, в частности, формирование первичных черных дыр в процессах фазового перехода; это могут быть легчайшие черные дыры, испаряющиеся задолго до нуклеосинтеза. В принципе, если исходить из теорий слабого взаимодействия и электромагнетизма, можно предположить существование и других черных дыр, с массой порядка массы Земли, однако пока нет надежной оценки вероятности их образования. Можно искать новые, еще неизвестные нестабильные тяжелые частицы. Наконец, не решены проблемы магнитных монополей, т. е. свободных зарядов, магнитного поля; я имею в виду вероятность их существования, количество, свойства. В целом, нужны новые усилия в физике, чтобы космология получила твердую почву под ногами. Подчеркиваю, что эти новые задачи оставляют неприкосновенным то очень многое, что уже завоевано наблюдательной и теоретической космологией.

•

Вернемся от бурных спекуляций последних глав к предмету космологии в целом. Итак, космология реально приобрела статус respectable науки. Она уже имеет великолепные результаты, формирующие твердый фундамент, который

останется навсегда. Такой статус имеет теория «Большого взрыва».

Она имеет определенные, хорошо сформулированные проблемы, ожидающие систематической исследовательской работы. И, наконец, последнее, но не менее важное: поставлены глубокие вопросы о происхождении Вселенной, а это означает, что в космологии не существует опасности безработицы.

Три источника, принесшие успех космологии, уже упоминались в начале: наблюдения, физическая теория и научная смелость. Чтобы развивать космологию дальше, нам необходимо то же самое: более совершенные наблюдения, прогресс физической теории и большая смелость.

Человек и его космический корабль — Земля, вращающаяся вокруг одной из многих звезд в одной из многих галактик, — это очень малая частичка Вселенной. И тем не менее мы изучаем и все лучше понимаем всю необъятную Вселенную, ее прошлое и будущее. Искренняя вера в возможность изучения Вселенной и познания истины, вера в Науку — вот то, что объединяет всех нас, не только астрономов, но и ученых в целом, так же как вера в добро, человеческое достоинство, ценность человеческой жизни объединяет всех людей доброй воли.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ. М.: Наука, 1975.

Зельдович Я. Б., Долгов А. Д. КОСМОЛОГИЯ И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ.— УФН, 1980, т. 130, № 4.

Зельдович Я. Б. ТЕОРИЯ ВАКУУМА БЫТЬ МОЖЕТ РЕШАЕТ ЗАГАДКУ КОСМОЛОГИИ.— УФН, 1981, т. 133, № 3.

Вайнберг С. ПЕРВЫЕ ТРИ МИНУТЫ. (Современный взгляд на происхождение Вселенной.) М.: Энергоиздат, 1981.

Вайнберг С. ГРАВИТАЦИЯ И КОСМОЛОГИЯ. М.: Мир, 1975.

Экспедиция к желобу Тонга

И. К. Пуцин,
кандидат геолого-минералогических наук

Тихоокеанский океанологический институт Дальневосточного научного центра АН СССР
Владивосток

В январе — мае 1982 г. состоялся 16-й рейс научно-исследовательского судна «Каллисто», во время которого проводились комплексные геолого-геофизические исследования одного из самых крупных на Земле глубоководных рвов — желоба Тонга, расположенного на крайнем северо-востоке Меланезии. В работах, кроме организовавшего экспедицию Тихоокеанского океанологического института ДВНЦ АН СССР, участвовали специалисты из Дальневосточного геологического института ДВНЦ АН СССР, Института геохимии и аналитической химии и Института физики Земли АН СССР, а также Московского государственного университета. Общее научное руководство осуществлял председатель президиума ДВНЦ АН СССР Н. А. Шило.

В столице Западного Самоа г. Апия в состав экспедиции вошли представители этого государства — геолог А. Титимееа, геофизик К. Фисо, стажеры Т. Ули, И. Иоане и П. Уили.

В юго-западной части Тихого океана, куда направлялась экспедиция, на сравнительно небольшой площади сосредоточены весьма разнообразные геологические структуры, различающиеся как происхождением, возрастом, строением, так и историей развития. Здесь можно наблюдать современные геологические процессы, что помогает проникнуть в геологическое прошлое Земли, выявить важнейшие направления ее тектонического развития.



Маршрут 16-го рейса научно-исследовательского судна «Каллисто». Продолжительность рейса — 130 суток, протяженность маршрута — 16 310 миль. Цветными дугами на схеме обозначены глубоководные желоба.

В подавляющем большинстве публикаций, посвященных геологии желоба Тонга (точнее, геологии системы островной дуга — глубоководный желоб Тонга), фактический материал интерпретируется с позиций тектоники литосферных плит. В соответствии с этой концепцией, в желобе Тонга мы имеем дело с процессом субдукции: движущаяся с востока Тихоокеанская плита как бы ныряет под поднятие Тонга, большая часть которого скрыта под водой. В северной же части желоба, где он резко поворачивает на запад, субдукция отсутствует и океаническая плита беспрепятственно продвигается в западном направлении.

Таким образом, на этом субширотном отрезке желоб Тонга, по мнению сторонников плитовой тектоники, представляет собой левосторонний сдвиг, выраженный в морфологии морского дна.

Другая группа исследователей отрицает процесс субдукции, связывая развитие системы дуга — желоб Тонга с преобладанием в этом регионе сил растяжения. Так, новозеландский геолог Г.-Р. Кац считает, что желоб Тонга представляет собой грабеновую структуру, а строение хребта Тонга определяется горст-грабеновой тектоникой. По его мнению, тектоника системы в целом указывает на растяжение, которое трудно увязать с концепцией столкновения и поглощения более крупных структурных элементов. Другой новозеландский геолог Д. У. Гриндли, последовательный сторонник концепции тектоники литосферных плит, писал: «Новозеландский складчатый пояс... — полигон для геологов и кладбище для тектонических теорий. Даже теперь, когда современные концепции тектоники плит все сметают перед собой, при строгом их приложении к Новозеландской складчатой области проявляются некоторые несоответствия»¹. Этот вывод Гриндли может быть распространен не только на Новозеландскую систему, включая дугу и желоб Тонга, но и на всю юго-западную часть Тихого океана.

Важнейшей целью нашей экспедиции стало изучение состава и строения земной коры в желобе Тонга — эти данные

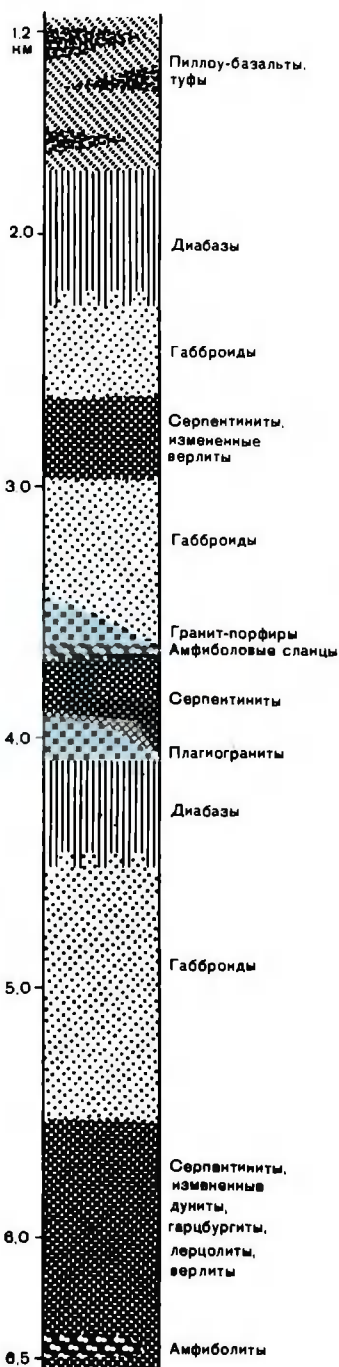
¹ Гриндли Д. У. Новая Зеландия. — В кн.: Мезозойско-кайнозойские складчатые пояса. Т. 2. М., 1977, с. 11.

необходимы для обоснования или опровержения конкурирующих геотектонических гипотез. Большое значение придавалось также сравнительно молодому направлению исследований — определению состава газов, растворенных в иловых водах и в придонных слоях воды, что помогает судить о процессах дегазации Земли, а также предварительно оценить углеводородный потенциал морского дна.

Геологическим и газогидрохимическим работам предшествовали батиметрическая съемка, магнитометрия и сейсмическое профилирование, что позволило наиболее рационально разместить станции, где следовало отобрать пробы. Параллельно велись сейсмологические исследования с применением донных сейсмических станций. В течение рейса все полученные материалы предварительно обрабатывались: составлялись батиметрические карты и схемы, анализировались результаты сейсмопрофилирования, проводились петрографические и петрофизические исследования извлеченных пород и т. д.

Окончательно оценить научные результаты экспедиции можно будет только после завершения всего объема аналитических работ и обсуждения их результатов. Тем не менее уже сейчас можно сказать, что данные, полученные в 16-м рейсе «Каллисто», существенно уточняют наши представления о геологии изученного района, а значит и о направленности геологических процессов в этом и других тектонически сходных районах.

Результаты проведенных во время рейса геофизических исследований существенно дополняют материалы аналогичных работ, выполненных в этом районе предшествующими экспедициями, в том числе и советскими. Следует отметить, что за 17 суток работы донных сейсмических станций зарегистрировано 1062 сейсмических события. При этом установлено, что сейсмическая активность в северной части желоба в 4 раза выше, чем в его южной части. Это подтверждает существующее предположение о разделении островных дуг на ряд сегментов, ограниченных крупными поперечными разломами и обла-



Схематический разрез океанической коры в северной части желоба Тонга (островной склон желоба). Цветом выделены зоны интенсивного дробления пород.

дающих разной тектонической активностью.

В ходе литологических исследований осадочные и вулканогенно-осадочные породы, образующие первый слой океанической коры, были разделены по составу и возрасту на несколько групп и типов. В том числе был выделен так называемый эдафогенный тип осадков, т. е. осадков, образовавшихся за счет разрушения твердых пород морского дна. Среди них очень интересны осадки, источником которых являются полнокристаллические породы ультраосновного состава². Эти осадки обнаружены нами не только на островном склоне желоба, где были найдены гипербазиты, но и на противоположном, океаническом склоне, что, возможно, свидетельствует о принципиальном сходстве геологического строения обоих склонов.

Экспедицией изучался также вулкан Уо Мамае, который находится на бровке океанического склона желоба Тонга. Сейчас уже получены первые результаты исследования кораллов с этой вулканической постройки. Среди поднятых кораллов, кроме современных и так называемых проходящих (миоцен — наши дни) форм, известный знаток кораллов Е. В. Краснов обнаружил вид, возраст которого ограничивается миоценом. Таким образом, вулкан Уо Мамае существовал по крайней мере с миоцена. Отмеченные результаты вкупе с некоторыми другими данными противоречат гипотезе субдукции литосферной плиты в зоне желоба Тонга.

Много сил участники экспедиции отдали изучению состава и строения океанической коры в желобе Тонга. Без этого невозможно однозначная интерпретация довольно обширных геофи-

² Ультраосновные и основные изверженные породы (синонимы — ультрабазиты и базиты) характеризуются сравнительно низким содержанием кремнезема. Ультраосновным породам свойствен процесс серпентинизации — замещения первичных минералов серпентином.

зических данных, собранных в этом регионе, а любые геотектонические построения будут гипотетичны. В северной части желоба на двух близко расположенных профилях (расстояние между ними 35—40 миль) драгой были подняты образцы пород на 19 станциях, причем на 12 породы опробованы непосредственно в коренном залегании. Кроме того, на 5 станциях образцы слагающих океаническую кору пород были подняты дочерепателем. В результате удалось установить последовательность залегания различных типов пород на островном склоне желоба в интервале глубин 6500—1200 м.

В нижней части склона (интервал 6500—4000 м) отмечен комплекс пород, характерный для многих известных разрезов офиолитов³: перидотиты-габброиды-диабазы (последние относятся к так называемому комплексу параллельных диаек). Более высокая часть разреза (интервал 4000—1500 м) в принципе аналогична нижней, но строение ее сложнее: снизу вверх перидотиты сменяются габброидами, опять перидотитами, а еще раз габброидами, а уже потом — диабазами. В интервале глубин 1500—1200 м разрез завершается толщей пиллоу-базальтов (подушечных лав) и их туфов. По всему разрезу перидотиты интенсивно серпентинизированы, и только в отдельных случаях удается установить их первоначальный состав. После просмотра сотен шлифов стало ясно, что изменениям подверг-

лись верлиты, лерцолиты и гарцбургиты. В нижней части склона были обнаружены измененные дуниты. Многие поднятые образцы в разной степени раздроблены, при этом перидотиты разрушены сильнее, чем остальные породы. На этом общем фоне выделяются две зоны, где породы раздроблены особенно сильно — вплоть до образования тектонических брекчий, наряду с которыми обнаружены амфиболовые сланцы, плагиограниты и плагиогранит-порфиры. Одна из этих зон располагается на глубине около 4000 м, на границе двух отмеченных выше комплексов пород; вторая — на глубине около 3500 м, в пределах верхнего комплекса, где она разграничивает нижние перидотиты и габброиды. Мощность каждой из этих зон, вероятно, не превышает нескольких десятков метров.

Возможна разная интерпретация полученных материалов. Наиболее вероятным нам представляется следующий вариант. Изученный разрез сдвоен, т. е. часть океанической коры, располагающаяся в настоящее время выше глубины 4000 м, по очень пологому разлому надвинута на подстилающие породы того же возраста, образуя покров видимой мощностью около 2800 м. Контактующие в зоне этого разлома (надвига) диабазы и перидотиты сильно раздроблены.

Но возможен и другой вариант: представленный разрез не сдвоен, а строен. В этом случае комплекс перидотиты-габброиды в интервале глубин 4000—2900 м, а также комплекс перидотиты-габброиды-диабазы в интервале глубин 2900—1700 м следует считать самостоятельными покровами. При этом отсутствующие в среднем покрове диабазы (комплекс параллельных диаек) могли быть уничтожены предполагаемым разломом. Не исключено также, что нами изучался один и тот же разрез в разных блоках коры, смещенных относительно друг друга по крутопадающему разлому.

Мы, конечно, очень рассчитываем на будущий комплексный анализ всех пород разреза, который подтвердит

или опровергнет предположение о его сдвоенности (строенности). Но надо иметь в виду, что петрологические сопоставления будут весьма сложны, поскольку практически отсутствуют данные о латеральной изменчивости геохимических характеристик (в единых тектонических условиях). Вероятно, более надежная схема интерпретации появится только после массового определения возраста пород, слагающих разрез.

Интересные результаты принесло изучение вулканических пород желоба Тонга. Впервые в исследованном районе были обнаружены бониниты, характеризующиеся редким сочетанием компонентов. В поднятых нами образцах бонинитов порфиоровые выделения, составляющие почти половину объема породы, представлены оливином и пироксенами, которые погружены в кислое стекло (содержание кремнезема в нем иногда превышает 60%). Уже первые анализы показали, что породившая бониниты магма может дать все важнейшие разновидности пород, характерные для современных островных дуг — от ультраосновного до среднего состава. Изучение бонинитов в комплексе с вулканическими породами других типов позволяет наметить новые пути для решения проблем эволюции магматизма.

В целом результаты геолого-геофизических исследований, проведенных во время экспедиции, подтверждают справедливость мысли о том, что океаническая кора устроена гораздо сложнее, чем это представляется сейчас большинству геологов и геофизиков. Если не повсеместно, то во многих геологических структурах, особенно в зонах перехода от континентов к Тихому океану, океаническая кора подверглась скучиванию, в процессе которого отдельные пластины коры перекрывали друг друга и, весьма вероятно, сминались в складки. Справедлива и другая мысль: ни одна из существующих в настоящее время геотектонических гипотез полностью не объясняет всего многообразия тектонических процессов в системе островная дуга — глубоководный желоб.

³ Офиолиты — обширный комплекс пород преимущественно основного и ультраосновного состава, встречающийся во многих складчатых областях. Большинство исследователей считают офиолиты фрагментами древней океанической коры, которые в ходе горообразовательных процессов были отторгнуты и перемещены на сотни километров в виде покровов-«чешуи», часто перекрывающих более молодые породы.

⁴ Нормальный разрез океанической коры показан А. В. Пейве (см.: Природа, 1977, № 6, с. 3).

Где может произойти землетрясение?

В. Я. Барлас, Е. Я. Ранцман



Владимир Яковлевич Барлас (1920—1982), геофизик, участник экспедиций по изучению рельефа и сейсмичности. Переводчик и автор популярных работ по геофизике, тектонике и географии.



Елизавета Яковлевна Ранцман, доктор географических наук, старший научный сотрудник Института географии АН СССР. Специалист по геоморфологии горных стран. В последние годы занимается исследованиями рельефа в связи с прогнозом места возможных сильных землетрясений. Автор монографии: Места землетрясений и морфоструктура горных стран. М., 1979.

Точно ответить на этот вопрос — значит фактически решить проблему прогноза места землетрясения, т. е. дать для любого места надежную оценку максимальной силы возможных там землетрясений. Предсказать время и силу будущего землетрясения, казалось бы, важнее и эффективнее. Но и надежные сведения о реальной сейсмической опасности любого района Земли также имеют существенное значение для безопасности людей и хозяйственного освоения территорий.

Исследования, о которых мы здесь вкратце расскажем, проводились совместно сейсмологами, математиками и геоморфологами трех академических институтов — Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта, Института прикладной ма-

тематики и Института географии. Эти работы позволяют уточнить расположение участков, в которых могут возникать сильные землетрясения в пределах горных территорий. Для понимания сути исследований важно уяснить, на каком фоне они развивались, как была поставлена задача, благодаря чему ее удалось решить и что, собственно, это дало нового.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Не углубляясь в механизм глубинных процессов, приводящих к землетрясениям, который все еще остается предметом дискуссий, напомним только, что сильные землетрясения, чреватые серьезными разрушениями и жертвами, — это проявление

тектонических движений, смещений и деформаций в породах земной коры, происходящих под воздействием глубинных сил. Такие движения приводят к возрастанию напряжений в некотором объеме окружающих пород, и когда предел прочности пород оказывается превзойденным, они разрываются. Место, в котором начинается разрыв пород, называют гипоцентром землетрясения; точку, находящуюся над ним на поверхности, — эпицентром, а область, охваченную разрывом, — очагом землетрясения. Установлено, что при сильнейших землетрясениях протяженность очага составляет сотни километров.

Высвободившаяся при землетрясении энергия распространяется, главным образом, в виде упругих волн, которые могут вызывать разрушения, сходящие на нет по мере удаления от эпицентра. Мы воспринимаем эти сейсмические волны как сотрясения и толчки, ощутимые при сильных землетрясениях более чем за 1000 км. Приборы же регистрируют такие волны повсеместно, и иногда они многократно обходят Землю.

Положение очага лишь косвенно связано с явлениями на поверхности, поскольку разломы в нем редко ее достигают. Поэтому когда в начале века были разработаны приборы, регистрирующие сейсмические волны, изучать расположение очагов и связь их с тектоническими процессами стали прежде всего две тогда же формировавшиеся ветви наук о Земле — сейсмология и тектоника.

Ныне расположение очагов изучено достаточно хорошо: различие в скоростях разных видов сейсмических волн позволяет надежно определять координаты эпицентров; глубину очага оценить труднее, но, как правило, удается выяснить, находится ли он в пределах земной коры. Основные разрушения связаны именно с такими очагами — их называют нормальными. Однако для целей прогноза важно не расположение очагов само по себе, а существование неких пространственных закономерностей в их распределении.

Наблюдения и исторические данные показали, что подавляющая часть сильных землетрясений приходится на области активных современных тектонических движений. Упрощая, здесь можно наметить две главные области. Это, во-первых, Евразийский пояс горообразования: Средиземноморье, Альпы, Карпаты, Кавказ, а далее на юго-восток через Памир и Гималаи — к Индонезии и на северо-восток через Тянь-Шань и Монгольский Алтай — к Байкалу.

Во-вторых, окраины Тихоокеанского кольца: опоясывающие океан с запада и севера глубоководные желоба и островные дуги (Япония, Курилы, Алеуты) и вулканы; на восточном же окончании океана — грандиозные сооружения Кордильер обеих Америк с вулканами, а также глубоководные желоба (в южной части). Если же говорить конкретнее, то еще в конце XIX в. была отмечена приуроченность сильных землетрясений к определенным тектоническим разломам. Это, например, наблюдал выдающийся геолог И. В. Мушкетов после Верненского (Алма-Атинского) катастрофического землетрясения 1887 г. В дальнейшем, при наблюдениях в районах, наиболее пострадавших от землетрясения (их называют плейстосейстовыми зонами), также чаще всего оказывалось, что эпицентр связан с линейной зоной тектонического разлома. В горных странах такие зоны-разломы обычно следуют вдоль границы хребтов и котловин или продольных долин между двумя хребтами.

Для прогноза особенно существенным оказалось то, что на некоторых отрезках этих зон землетрясения отмечались неоднократно. После перерыва, длящегося десятилетия и более ста лет, происходило новое разрушительное землетрясение, эпицентр которого, не совпадая с предыдущим, был тем не менее приурочен к той же отрезку зоны разлома.

Опираясь на эти данные, уже в конце первой трети нашего века начали строить карты дифференциальной сейсмической опасности для территорий, в которых отмечались разрушительные землетрясения. Эту процедуру называют сейсморайонированием. Допускают, что если в некоей зоне тектонического разлома произошло несколько сильных землетрясений или хотя бы одно, то и всей зоне (коль скоро разлом представляет единое целое) правомерно приписать сейсмическую опасность, соответствующую самому сильному из этих землетрясений.

Оценка опасности долгое время давалась в баллах, отражавших интенсивность явлений, наблюдаемых на поверхности. Так, плейстосейстовой зоне разрушительного землетрясения с разрывными смещениями может быть дана оценка от 9 до 12 баллов (по наиболее распространенной 12-балльной шкале). Порогу разрушений (когда возникают повреждения непрочных построек) соответствует примерно зона 5-балльных сотрясений, в 2 балла оценивают сотрясение на пороге ощутимости.

Однако такая оценка не всегда от-



Разрушы на подгорной равнине хребта Кунгей-Алатау, образовавшиеся при землетрясении 1911 г. [Фото из кн.: Богданович К. И., Карк И. М., Корольков Б. Я., Мушкетов Д. И. Землетрясение в Северных цепях Тянь-Шаня. СПб, 1914, с. 66.]

ражает действительную силу землетрясения, так как разрушения, вызванные землетрясением, зависят от факторов, не имеющих отношения к его физической природе — от населенности района, качества построек и т. п. Поэтому с развитием инструментальных наблюдений уже в 50-х годах повсеместно утвердилась шкала магнитуд (M) — оценка силы землетрясения, которая характеризует энергию, освободившуюся в очаге. При $M=5,0$ землетрясение может сопровождаться слабыми разрушениями; при $M=6,5$ и больше — разрушения сильные; землетрясение с магнитудой 8,9 — самое сильное из зарегистрированных на Земле.

Таким образом, до последнего времени прогноз места возможного землетрясения полностью опирался на положение сейсмоопасных зон, причем предполагалось, что новое сильное землетрясение может возникнуть в любом участке такой зоны. Понятно стремление как-то локализовать область возможной опасности, и исследования сейсмологов и геофизиков выявили в плейстоценовых зонах немало спе-

цифических особенностей, в том числе и выраженных на поверхности. В частности, еще в начале 60-х годов ряд исследователей (впервые В. И. Бунз и В. М. Рейман) указывали на особую сейсмическую активность мест пересечения разломов — «дизъюнктивных узлов». Однако, используя традиционные геологические методы, не удавалось убедительно доказать, что сильные землетрясения не могут возникать за пределами «дизъюнктивных узлов» или что некоторые «узлы», в которых ранее землетрясения не отмечались, все же следует считать сейсмоопасными. Как это часто случается в наши дни, новый импульс пришел из смежной области знания — геоморфологии, науки о формировании рельефа.

Долгое время господствовала концепция классической геологии, согласно которой в истории нашей планеты чередуются длительные периоды спокойных колебательных движений и фазы интенсивных складчатых движений с последующим горообразованием, а для современной эпохи характерна стадия успокоения после альпийской фазы горообразования. Именно поэтому геоморфологи при изучении рельефа основное значение придавали факторам, действующим у поверхности (вода, ветер, снег со льдом).

Однако к середине нашего века выяс-



Зона сочленения горного хребта и межгорной котловины [Северный Тянь-Шань]. Продольный морфоструктурный линеймент вытянут вдоль нижней части горного склона.

нилось, что мы живем в эпоху весьма активных тектонических движений. К примеру, геодезические измерения на Памире показали, что хребет Петра I поднимается относительно противоположного берега р. Сурхоб более чем на 1 см в год. При подъеме гор реки прокладывают путь к равнине и, вгрызаясь в окружающие породы, постепенно создают все более глубокие ущелья. И по следам древних врезаний геоморфологам удалось установить, что поднятия гор в этом районе после оледенения (т. е. примерно за последние 10 тыс. лет) происходили быстрее, чем ранее.

Очевидно, что с такой скоростью горы не могли подниматься длительное время в геологическом масштабе. Иначе за миллион лет некоторые из вершин Памира уже достигли бы уровня порядка 10 км, но в целом мы вправе считать, что основная часть тектонических движений, создавших современный рельеф молодых горных стран, приходится именно на последний миллион лет — во всяком случае в тех поясах горообразования, к которым

приурочены почти все сильные землетрясения. Но для этого интервала времени тектонические движения лучше всего оценивать, опираясь на сведения о современном рельефе. В горных странах это особенно наглядно: соотношение крупных элементов рельефа (скажем, хребтов, котловин) непосредственно выявляет характер происходящих движений.

С начала 50-х годов в геоморфологии стало быстро набирать силу новое направление — морфоструктурный анализ. Понятие «морфоструктура» введено И. П. Герасимовым в 1946 г. Оно связано с необходимостью выделить из процесса рельефообразования составляющую, созданную внутренними силами Земли, т. е. в конечном счете тектоническими движениями. Термин «морфоструктура» часто относят к таким орографически и тектонически целостным образованиям, как крупные элементы современного рельефа — горные хребты и межгорные котловины, плато и нагорья. Поэтому при морфоструктурном анализе геоморфологические данные сопоставляются с геологическими и геофизическими, характеризующими глубинное строение изучаемой территории. В итоге такой анализ позволяет выявить тектонически активно развивающиеся структуры, что особенно важно при изучении землетрясений.

Тектонические уступы в зоне поперечного линеймента хребта Академии наук (Северный Памир).



Обвальная плотина Сарезского озера, возникшая при землетрясении 1911 г. (Центрально-Памирский морфоструктурный узел).





Участок зоны главного сдвига Сан-Андреас. [Фото из кн.: Iacopi R. Earthquake Country. California, 1964, p. 23.]

временного рельефа определены положением поперечных морфоструктурных линейментов. Они косо или под прямым углом пересекают продольные элементы рельефа, прослеживаясь на протяжении десятков и даже сотен километров. Эти поперечные зоны составлены из прямолинейных участков «косых» долин, балок, ложбин и оврагов, отдельных коротких поперечных хребтов, гряд, уступов, разломов, линий контактов разновозрастных пород поперечного простирания. В своей совокупности такие почти параллельные прерывистые формы создают полосу шириной в несколько километров, а иногда до 20—30 км.

Когда появились многочисленные снимки Земли из космоса, на них были обнаружены линии разных простираний. Их также стали называть линейментами. Сопоставление линий на снимках с современ-

ным рельефом во время полевых наблюдений и перенесение линий со снимков на топографические карты позволило выяснить, что только некоторые из них можно объединить в поперечные зоны, которые разграничивают участки, существенно различающиеся по рельефу. Только такие зоны и были отнесены нами к числу поперечных морфоструктурных линейментов; на мелкомасштабных космических снимках они видны как непрерывные линии.

В особую группу морфоструктурных линейментов выделены зоны наиболее крупных горизонтальных тектонических смещений — главные сдвиги. По своему простиранию они могут быть как продольными, так и поперечными, но выраженность разлома на всем их протяжении и специфические черты морфоструктуры зон сдвигов дают основание выделить их в самостоятельную группу. В осевой части зоны происходят наиболее активные смещения пород, вызывающие изгибы речных долин и русел временных потоков. Вдоль оси зоны нередко прослеживается полоса понижений — присдвиговый рифт. Зону сдвига занимают самостоятельные крупные элементы рельефа — хребты и долины рек. Морфоструктуры прилегающих территорий никогда не пересекают зоны главных сдвигов, а прилегают к ним. К главным сдвигам отнесены зоны таких известных разломов, как Таласо-Ферганский на Тянь-Шане, Сан-Андреас в Калифорнии, Северо-Анатолийский в Малой Азии.

При пересечении или прилегании морфоструктурных линейментов разных простираний возникают территории с мозаичным (дробным) рельефом — с большим числом линейных форм разных простираний, ломаной линией границы типов рельефа (например, горного склона и подгорных равнин). Специфические черты рельефа такой территории, созданные под воздействием активных тектонических движений разных простираний, позволяют выделить ее в самостоятельную морфоструктурную единицу — узел. Активные проявления молодых тектонических движений создают в каждом морфоструктурном узле неповторимые сочетания форм рельефа. Так, именно к узлам приурочены крупнейшие обрушения на склонах, такие, например, как запруда Большого Алма-Атинского озера; в узлах возникают тектонические запруды рек, созданные дифференцированными движениями мелких блоков (таковы запруды озер Иссык и Сары-Челек на Тянь-Шане). В некоторых

узлах резко углубляются врезы рек в поверхность низких террас. Несколько крупнейших перемещений масс на склонах произошли в узлах во время катастрофических землетрясений XX в. (например, Усойский завал на Памире в 1911 г. при Сарезском землетрясении). Зоны линейных изменений — нарушается их линейность, увеличивается ширина.

Таким образом, в итоге морфоструктурного анализа горные пространства были разделены на морфоструктурные

единицы трех категорий — территориальные единицы (глыбы); линейные зоны, по которым происходят относительные тектонические перемещения глыб (морфоструктурные линеаменты); места пересечения линеаментов разных простираний (узлы). Активность тектонических движений линеаментов выше, чем глыб, а узлы тектонически более активны, чем линеаменты. Выделение морфоструктур с последовательно нарастающей степенью тектонической активности было названо морфоструктурным районированием.



Схема Айма-Атинского морфоструктурного узла. В узле нарушена линейность продольного линеамента, смещены линии осевого поднятия Замбийского Алату и подножия уступов на границе высокогорного и среднегорного поясов рельефа.

МОРФОСТРУКТУРНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

Рассмотрим подробнее, как составлялись схемы морфоструктурного районирования. Нам уже известны различия в морфоструктуре трех видов линеаментов — продольных, поперечных и главных сдвигов. Морфоструктурные узлы определяются пересечением морфоструктурных линеаментов, но границы узлов можно провести лишь по данным полевых исследований: устанавливается место, где исчезает специфическая для узлов мозаичность рельефа и восстанавливается господство одного простирания, свойственной зоне линеамента.

Для сейсмических прогнозов важно иерархически упорядочить систему районирования. При морфоструктурном районировании были выделены территориальные единицы (глыбы) трех порядков (рангов) и для каждой территориальной единицы — большой или малой по площа-

-  Уступы вдоль подножий хребта
-  Уступы вдоль границы горного склона и предгорных возвышенностей
-  Прямолинейные участки долины, линии разрывов
-  Разломы в фундаменте, скрытые под рыхлыми отложениями
-  Линия осевого поднятия Замбийского Алату
-  Уступ вдоль границы высокогорного и среднегорного рельефа
-  Эпицентр Вориенского землетрясения 1887 г.

ди — удалось найти свою меру морфоструктурной однородности, позволяющей рассматривать эту глыбу как единое целое. Самая крупная территориальная единица названа горной страной. Мера ее однородности определяется типом горообразования и обликом рельефа. Это означает, что соседние территории с разным типом горообразования или при едином типе горообразования, но с разным обликом рельефа, считались разными горными странами.

Мы различали четыре типа горообразования: эпигеосинклинальный, эпиплатформенный, вулканический и континентального рифтообразования. Облик рельефа характеризовался четырьмя признаками: 1 — преобладающим уровнем высот осевых частей хребтов (низким, средним, высоким, высочайшим); 2 — типом сочетаний крупных элементов рельефа; 3 — типом очертаний крупных элементов рельефа (различались глыбовые и складчатые горы); 4 — господствующим простираем крупных элементов рельефа. Облик рельефа двух смежных горных стран считался различным при различии хотя бы в одном из первых трех признаков либо при различии господствующих простираем морфоструктур примерно на 90° .

Приведем пример. В горах Средней Азии было выделено три горных страны: Памир отличался от Западного Куньлуня и Тянь-Шаня по типу процесса горообразования (соответственно эпигеосинклинального и эпиплатформенного), а Тянь-Шань от Куньлуня — по облику рельефа, конкретно — по типу сочетаний элементов рельефа (для Тянь-Шаня характерно чередование хребтов и обширных межгорных котловин широтного направления, а для Куньлуня — чередование хребтов и продольных долин меридионального направления). В целом, различие в облике рельефа отражает своеобразие тектонического развития горной страны: степень интенсивности, контрастности и дифференцированности горообразовательных движений, возраст ведущей складчатости, направление преобладающих тектонических напряжений. Горные страны разграничены морфоструктурными линейными элементами первого ранга: при морфоструктурном районировании ранг линейного элемента соответствует наивысшему рангу разделяемых глыб.

Горные страны делят на мегаблоки — морфоструктурные территориальные единицы второго ранга. В каждом мегаблоке количественные показатели крупных элементов рельефа (высоты и простираем

осевых частей хребтов, ширина днищ котловин или мощность их толщ и др.) изменяются согласно определенной закономерности. Например, высоты осевых частей хребтов возрастают в одном направлении, а при переходе через границу мегаблока данная закономерность нарушается. Мегаблоки разграничены морфоструктурными линейными элементами второго ранга.

Мегаблоки разделяются на территориальные единицы третьего ранга — морфоструктурные блоки. Выделение блоков — наиболее трудоемкий этап районирования. За меру однородности блока была принята однородность количественных показателей крупных элементов рельефа. Это означает, что в пределах блока существенных изменений показателей не происходит, тогда как соседние блоки отличаются хотя бы одним показателем, например скачкообразным изменением высот осей хребтов на $1/10$ средней высоты или простираем осей хребтов и котловин на 20° , или мощностей толщ в котловинах на $1/5$ и пр. Все эти величины устанавливались эмпирически в ходе районирования и были проверены на нескольких различных по рельефу территориях. Блоки разграничены морфоструктурными линейными элементами третьего ранга.

В местах, где резко и существенно менялись количественные показатели, удавалось выявить соответствующую поперечную зону — морфоструктурный линейный элемент, ограничивающий рассматриваемую глыбу. Это подтверждает, на наш взгляд, что схемы районирования отражают реальную блоковую структуру земной коры.

Благодаря строгим определениям признаков, по которым шло выделение единиц районирования, была достигнута воспроизводимость схем морфоструктурного районирования. Это означает, что каждый квалифицированный геоморфолог, используя установленный порядок процедуры районирования и опираясь на систему формализованных признаков морфоструктур, составит на одну и ту же территорию идентичные схемы районирования. Формализация схем позволила применить к анализу морфоструктурных данных методы прикладной математики³.

³ Алексеевская М. А., Габриэлов А. М., Гашиани А. Д., Гельфанд И. М., Ратцман Е. Я. — Вычисл. сейсмология, 1977, № 10, с. 33.

Прямойлинейный участок долины в зоне поперечного линейного элемента.



СХЕМЫ РАЙОНИРОВАНИЯ И ЭПИЦЕНТРЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Схемы морфоструктурного районирования были составлены геоморфологами Института географии АН СССР для гор Средней Азии (Тянь-Шаня и Памира), для восточного Средиземноморья, Калифорнии, восточной Камчатки и некоторых других территорий. После сопоставления каталога землетрясений со схемами, составленными в масштабе 1:2 500 000, выяснилось, что эпицентры сильных землетрясений (магнитудой 6,5 и выше) приурочены к окрестностям зон пересечения морфоструктурных линейных элементов — к узлам. Границы узлов были установлены только на схеме гор Средней Азии.

В восточном Средиземноморье (включая Закавказье) из 55 эпицентров сильных землетрясений (на 1970 г.) 45 расположены на расстоянии менее 40 км от точки пересечения осей линейных элементов, что соответствует размерам узлов и точности определения положения координат эпицентров, и ни один эпицентр не находится далее 65 км от точки пересечения осей линейных элементов. Это и дало основание выдвинуть гипотезу о приурочен-

ности эпицентров сильных землетрясений к морфоструктурным узлам. В Средней Азии узлы заняли 1/3 суммарной протяженности продольных линейных элементов первого и второго рангов — зон, обычно целиком относимых сейсмотектонистами к сейсмоопасным, если хотя бы в одном их месте был расположен эпицентр сильного землетрясения.

За последующие годы были составлены схемы морфоструктурного районирования в других масштабах и для других территорий, где значение магнитуды сильного землетрясения изменялось в зависимости от уровня сейсмичности территории. Так, для запада Южной Америки, где уровень сейсмичности очень высокий, к сильным были отнесены землетрясения магнитудой 7,75 и выше. Здесь приуроченность эпицентров к пересечениям линейных элементов была статистически подтверждена математиками. Для горных территорий с относительно низким уровнем сейсмичности схемы составлялись в крупном масштабе, и к сильным были отнесены землетрясения магнитудой 5,0 и выше (например, для Западных Альп). И для этих территорий подтвердилась гипотеза о приуроченности эпицентров сильных землетря-

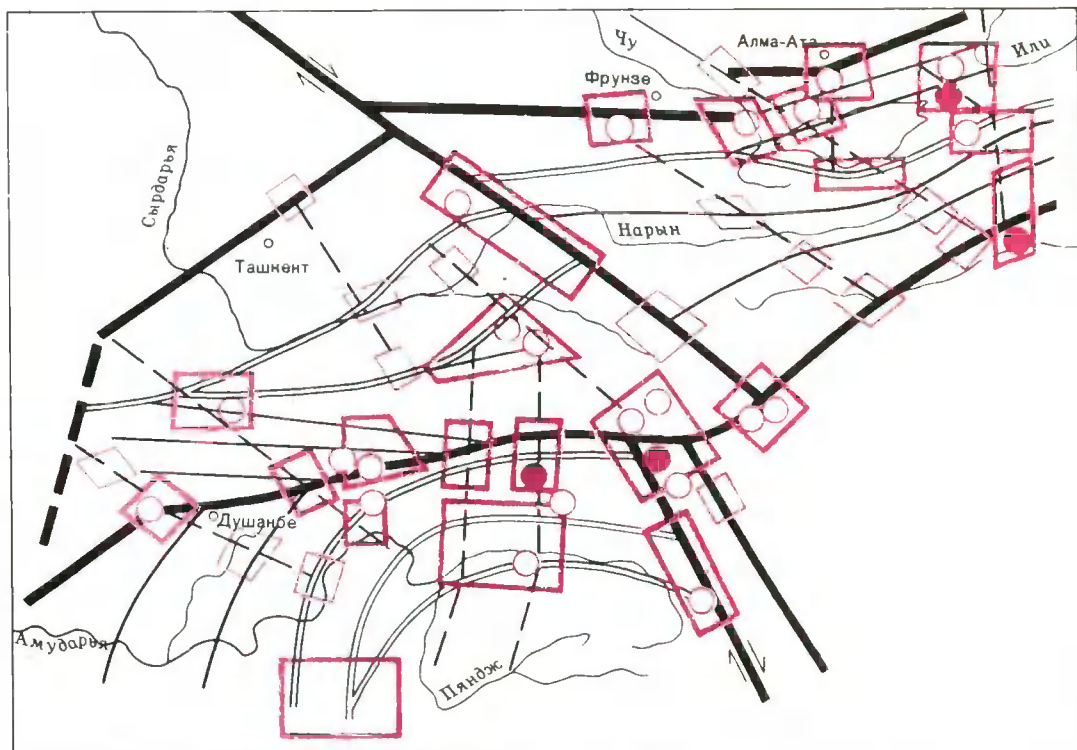
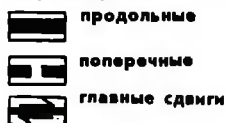


Схема морфоструктурного районирования гор Средней Азии. На ее основе было проведено алгоритмическое распознавание мест возможных сильных землетрясений магнитудой более 6,5. В нескольких морфоструктурных узлах, отнесенных при распознавании к высокосейсмичным, после прогнозирования произошли сильные землетрясения.

Морфоструктурные линейменты
Первого ранга:



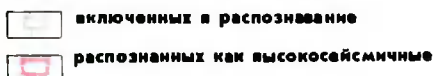
Второго ранга:



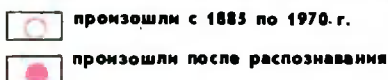
Третьего ранга:



Границы морфоструктурных узлов:



Эпицентры сильных землетрясений ($M \geq 6,5$)



сений к пересечениям зон морфоструктурных линейментов — к узлам.

В горах Тянь-Шаня и Памира с 1885 по 1970 г. произошло 22 сильных землетрясения. Их эпицентры расположены в 16 выделенных при районировании морфоструктурных узлах (узлы В — высокосейсмичные); в остальных 25 узлах (узлы Н — низкосейсмичные) за этот срок землетрясения не известны. Задача состояла в том, чтобы, опираясь на морфоструктурные характеристики, найти, в каких из этих узлов сильные землетрясения могут происходить в будущем (узлы Вх)⁴.

Первый этап распознавания — формализованное описание каждого узла по единому «вопроснику», включающему геоморфологические, геологические и геофизические параметры, которые, по имеющимся представлениям, существенны для возникновения землетрясений. Затем составляется таблица значений параметров узлов В и Н. Параметры можно разделить на три группы, характеризующие:

⁴ Гельфанд И. М., Губерман Ш. А., Извекова М. Л., Кейлис-Борок В. И., Ранцман Е. Я. — Вычисл. сейсмология, 1973, № 6, с. 107.

степень тектонической раздробленности узла и территории вблизи него (число и ранг линейных элементов, формирующих узел); интенсивность и контрастность тектонических движений (типы рельефа в узле, сведения о высотах и пр.); глубинное строение территории узла (значение гравиметрических аномалий, мощность земной коры).

Второй этап — отбор параметров для распознавания. Он основан на том, что значения многих параметров различаются в узлах В и Н. Полезными при распознавании считаются те параметры, в которых можно выбрать диапазоны значений, часто встречающиеся в узлах В и достаточно редко — в узлах Н.

Следующий этап — собственно распознавание. Для гор Средней Азии оно было проведено согласно алгоритму распознавания КОРА-3, который позволяет разбить исследуемые объекты на два класса. С помощью ЭВМ выделены критерии сейсмичности — две группы сочетаний признаков, часто встречаемые в узлах, где произошли землетрясения (группа В), и где землетрясений не было (группа Н). Некоторые среди узлов Н могут иметь признаки, характерные для узлов В — узлы В¹.

В результате на Тянь-Шане и Памире из 25 узлов Н 6 узлов было распознано как В¹. В двух из них за последующие годы произошли сильные землетрясения, что подтвердило прогноз. Ни в одном из узлов Н землетрясений не произошло. В итоге только 22 узла из 41 были отнесены к высокосейсмичным.

Полученные при распознавании морфоструктурные критерии сейсмичности находят естественное объяснение в свете представлений о характере тектонических движений при возникновении землетрясений. Геолого-геоморфологическая интерпретация результатов распознавания (как для гор Средней Азии, так и для других регионов) показывает, что нельзя просто ориентироваться лишь на отдельные признаки или на их сочетания, поскольку результат распознавания существенно зависит от соотношения всех сочетаний признаков. В горах Средней Азии как признаки узлов В чаще других использовались: число линейных элементов в узле больше трех, наличие линейного элемента высшего ранга — признаки высокой тектонической раздробленности; контрастные сочетания типов рельефа, большой размах высот в узле, большая максимальная высота — при-

знаки контрастности и интенсивности движений.

Морфоструктурные критерии сейсмичности, установленные для одного региона, в известной степени оказались применимы для других регионов. Так, по критериям сейсмичности зоны разлома Сан-Андреас (Калифорния) оказалось возможным распознать узлы В и В¹ в Малой Азии, где преобладающая часть сильных землетрясений, как и в Калифорнии, связана с зоной главного сдвига. Более того, по морфоструктурным критериям сейсмичности запада Южной Америки были распознаны сейсмичные пересечения Камчатки (узлы В).

Распознавание для новых территорий помогло выявить другие существенные параметры. Это минимальные высоты — показатель интенсивности опусканий; расстояние между пересечениями линейных элементов — параметр группы тектонической раздробленности территории и др.

Несколько неожиданно, что распознавание, которое опиралось в основном на статистические данные о рельефе, оказалось столь успешным и надежным. Ведь землетрясения представляют собой одно из проявлений динамического процесса, затрагивающего значительные глубины, и их возникновение контролируется рядом сложных факторов, связанных со строением, состоянием и историей литосферы. Следует однако, учесть, что современные рельефообразующие процессы, запечатленные в рельефе, в том или ином виде отражают ход тектонических движений начиная по меньшей мере с плиоплейстоцена и охватывают диапазон глубин, соизмеримых с теми, на которых готовится подавляющее большинство сильных землетрясений. Поэтому рационально отобранные данные о крупных элементах рельефа (в сочетании с необходимыми сведениями о геологии) позволяют достаточно обоснованно судить о временной и пространственной структуре тектонических процессов, повлиявших на их формирование. Важная роль морфоструктурного анализа для решения такого рода задач осознана сравнительно недавно — возможно потому, что его еще мало затронула формализация (если иметь в виду не применение количественных методов, а саму методику анализа), без которой вряд ли можно добиться общности и точности, требуемых для получения надежных и воспроизводимых результатов.

Степная тиркушка на юге Барабы

А. И. Кошелев
Новосибирск

Те, кому приходилось раньше бывать в степях Казахстана, очевидно, видели проносящиеся мимо стаи степных тиркушек (*Glaucola nordmanni*)¹. Небольшая, чуть крупнее дрозда, с длинным вильчатым хвостом, тиркушка ничуть не похожа на своих ближайших сородичей — куликов. В оперении ее сочетаются несколько цветов: серовато-бурая с оливковым оттенком спинка и белые брюшко и подхвостье. На горле и шее черное полукольцо (уздечка) окаймляет белое пятно, отделяя его от серовато-бурой грудки. Такая же черная полоска проходит под глазами. Вершина клюва — черного цвета, а основание его (до ноздрей) — красное, за что птицу часто называют красноустиком. Самцы от самок отличаются более ярким оперением и крупными размерами: вес самок 90—97 г, самцов — 96—105 г.

Обитает тиркушка в степях на юге СССР, за пределами нашей страны встречается только в Добрудже (низовья р. Дунай). В Западной Сибири она время от времени гнездится в степных и лесостепных районах, а иногда залетает под Омск, Тюмень, в окрестности оз. Чаны². Биология тиркушки до сих



Кладка степной тиркушки.



Птенец степной тиркушки.

пор изучена недостаточно, имеющиеся сведения неполны и отрывочны.

Автор этих строк обнаружил в Новосибирской области, чуть южнее оз. Чаны, 10 колоний тиркушек и два сезона (1975, 1976 гг.) наблюдал за их жизнью.

Весной 1975 г. первые птицы (группами из 4—15 особей) появились поздно, 31 мая, а в 1976 г. немного раньше — 18 мая. Некоторые пары, очевидно, сформировались еще во время миграции и, прилетев, сразу же приступили к строительству гнезд. Уже на 2—3 день они отложили яйца; другие птицы составили пары только после прилета, и потому стали гнездиться позже. В Барабе тиркушки облюбовали ровные обширные открытые солончаки с редкими низкими зарослями солянок (солероса, сведы) и полыни. Обычно места гнездования находятся в 100—500 м от озера, но известны случаи, когда тиркушки устраивают гнезда в степи, в 5—10 км от водоемов. Две пары тиркушек держались в 1975 г. на засеянном овсяном поле, а колония у с. Светлое найдена в сухой типчаковой степи, вдающейся клином в озеро.

Степная тиркушка — птица очень общительная, живая, гнездится она чаще всего колониями и лишь изредка — отдельными парами или небольшими группами из 2—4 пар. В колониях из 6—30 пар, которые мы обнаружили вблизи оз. Чаны, соседние гнезда располагались в 15—100 м друг от друга, а участок гнездования всей колонии занимал площадь 5—10 га. По берегам озер обычно выпасают скот, который час-

¹ Долгушин И. А. Птицы Казахстана. Т. 2. Алма-Ата, 1962.

² Гладков Н. А. Род тиркушки. — В кн.: Птицы Советского Союза, Т. 3., М., 1951.



Степная тиркушка в солончаках.

то растаптывает гнезда тиркушек (в некоторых колониях гибнет до 80% гнезд). Лишившись первой кладки, птицы строят новое гнездо неподалеку от прежнего или улетают на значительное (до 300 м) расстояние. Как и большинство степных и лесостепных видов птиц, тиркушки часто меняют места гнездования. Нередко это происходит без видимой причины, но в ряде случаев связано с изменением гидрологического режима озер (усыханием — обводнением).

Гнездо тиркушки — это неглубокая плоская ямка, вырытая в сухой земле; иногда же для гнезда тиркушки используют ямтину от следа коров. Гнездовую ямку птицы небрежно выстилают сухими стебельками солероса, полыни, измельченного тростника. Бывает, что они выстилают лоток только по периметру или вообще этого не

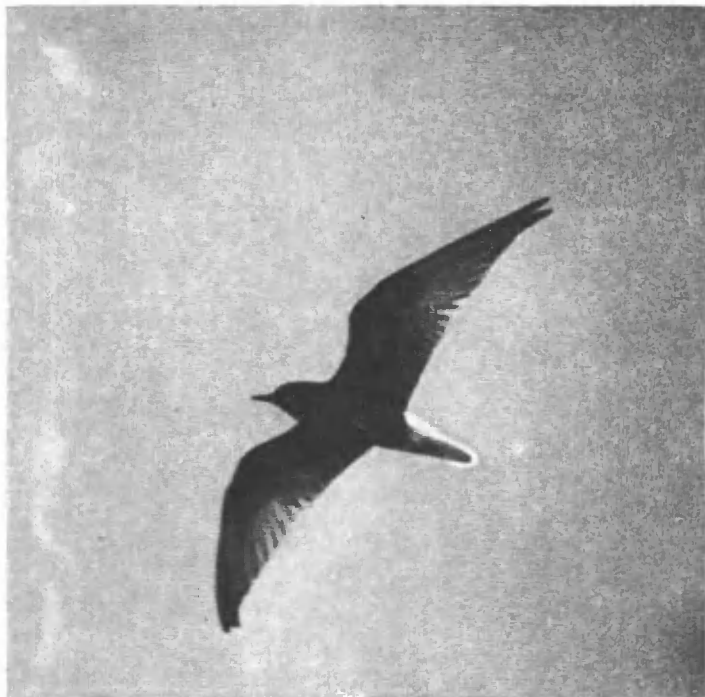
делают. Лоток по размерам невелик: диаметр 8—11, глубина 2—3 см. Во время насиживания гнездо постепенно засыпается землей и обломками растений, так что на поверхности торчат лишь верхушки яиц. Большинство осмотренных нами гнезд располагалось совершенно открыто на голой земле или среди очень редких низких зарослей солянков. Часть гнезд находилась в средних по густоте низких зарослях солероса или в небольших понижениях (ямках, бороздах, за кочками).

В 1976 г. в одной из колоний мы нашли первые яйца 2 июня, а уже 7 июня полные кладки были у большинства пар четырех осмотренных колоний. Яйца тиркушек (размерами 29—33,5×23—25,2 мм и весом от 8 до 11,4 г) матовые, округло-эллиптической формы. Окраска их защитная: по оливково-зеленоватому фону (реже желтоватому или бурому) разбросаны многочисленные черно-бурые пятна неправильной формы. Более крупные пятна бледно-фиолетового или светло-серого цвета слабо заметны. Обычно в кладке бывает 4 яйца, реже — 3

и только в одном из 20 гнезд было 2 яйца. Если гибнет первая кладка, во второй раз птицы откладывают 2—3 яйца.

Как только самка откладывает первое яйцо, оба родителя начинают его насиживать, меняясь через каждые 2—3 часа. Втянув голову, птица со слабо взъерошенным оперением плотно сидит на гнезде и совершенно незаметна даже на открытых участках. Свободный партнер в это время кормится за пределами колонии или же стоит на страже в 3—10 м от гнезда. Сидят тиркушки на гнезде круглые сутки, прерывая насиживание лишь в жаркий полдень, когда улетают кормиться или утолить жажду. Перед тем как слететь с гнезда, птица нередко издает быстрые тихие крики, на зов подлетает другая, садится в 8—10 м от гнезда и идет к нему шагом, часто останавливаясь и осматриваясь. Усевшись на гнездо, птица замирает и становится незаметной.

Тиркушки активно защищают свои гнезда, преследуют и изгоняют с территории колонии болотного луня, подорлика, серую ворону, грача, серебри-



Тиркушка в полете.

тую чайку, болотную сову. В нападении на хищника участвуют одновременно несколько пар, к ним присоединяются все новые и новые птицы. Если на месте гнездования колонии появляется человек, тиркушки с беспокойными криками летают над ним, садятся в 10—20 м на землю и всячески «отводят» его от гнезда: отбегают в сторону, садятся на землю, будто насиживают яйца; падают на бок или на спину, бьют крыльями; то бегут с распушенными крыльями, то взлетают и тут же падают, имитируя полную беспомощность.

Степные тиркушки часто гнездятся по соседству с чибисом, большим веретенником, которые помогают им защищать гнезда. В то же время в колониях тиркушек или рядом с ними гнездятся многие кулики (травник, поручейник, мородунка, малый зуек, шилоклювка и др.) и утки — шилохвость, серая утка, трескун. Здесь они

находят защиту от врагов и успешно выводят потомство.

Интересно, что иногда тиркушки занимают гнездовые участки и ведут себя так же, как все птицы, насиживающие яйца, однако сами яиц не откладывают.

Продолжительность инкубации мы не смогли выяснить. Массовое вылупление птенцов в 1975 г. закончилось 25—26 июня, их вес был равен 7,0—7,5 г. Как только птенцы освободились от скорлупы, родители не оставляли их ни на секунду, затеняя малышей от жарких лучей солнца. Так как гнездо находится на солнцепеке, первые движения птенцов — поиски тени. Поначалу птенцы прячутся во вздерошенном оперении родителей, позже укрываются в тени их крыльев. Если появляется какая-либо опасность, птенцы искусно затаиваются на совершенно голом месте, плотно прижавшись к земле, и становятся невидимы для врага. Их рыжевато-желтоватые спинки с многочисленными черными пятнышками, образующими продольные полосы по бокам спины и

на голове, совершенно сливаются с окраской окружающего ландшафта.

Когда в гнездах не остается ни одного невылупившегося птенца, тиркушки уводят малышей к озерам, в густые надежные заросли тростника и осок. Первое время птенцов кормят родители, а с 10—12-дневного возраста птенцы добывают пищу самостоятельно, склевывая насекомых с растений и земли. Подросшие птенцы бегают очень быстро, при опасности укрываются в зарослях и затаиваются. Уже в возрасте 20—25 дней они начинают летать. С этого времени тиркушки кочуют по степи, держась небольшими группами, в которых родители всегда бывают вместе со своим потомством.

Кормятся тиркушки чаще на солончаках вблизи озер, реже — на выгоревших от солнца гривах. На местах кормежки они смешиваются с другими птицами — чибисами, грачами, скворцами и др. Свою добычу (разных жуков, прямокрылых и двукрылых) тиркушки обычно ловят на земле, но с немалым успехом и в воздухе, напоминая деревенских ласточек. В полете стаи тиркушек держатся плотно, но беспорядочно, на лету птицы часто перекликаются.

На зимовку, которую тиркушки проводят в Западной и Южной Африке, из Барабы птицы улетают рано, с начала августа. Уже в начале месяца эти места покидают первые стаи, и к 15—20 августа ни одной тиркушки не остается.

Врагов у взрослых тиркушек мало, но их гнезда и птенцов часто губит пасущийся скот; разоряют гнезда наземные хищники (лисица, барсук, горностай) и пернатые — болотный лунь, серая ворона, изредка грач. Продолжительность жизни степной тиркушки в природе не установлена, возможно, как и близкий вид — луговая тиркушка, она живет 6—7 лет.

Уничтожая в огромном количестве вредных насекомых — кузнечиков, саранчу, степная тиркушка приносит несомненную пользу; кроме того, она невольно защищает уток и куликов, гнездящихся по соседству с ней.

Нейтринная лаборатория на Ровенской АЭС

А. А. Микаэлян,
доктор физико-математических наук
Институт атомной энергии
им. И. В. Курчатова

Нейтрино, предсказанное В. Паули в начале 30-х годов, долгие 20 лет оставалось гипотетической частицей — до тех пор, пока Ф. Райнесу и К. Коуэну не удалось в 1953 г. зарегистрировать нейтрино, генерируемые в ядерном реакторе. После этих опытов нейтрино стало полноправным членом все увеличивающегося семейства элементарных частиц. Дальнейший прогресс в изучении свойств нейтрино был связан главным образом с экспериментами на ускорителях, а также с изучением космических нейтрино. До недавнего времени нейтринные исследования в СССР велись в двух научных центрах: Институте физики высоких энергий (ИФВЭ, Протвино) и Институте ядерных исследований АН СССР (ИЯИ). На ускорителе ИФВЭ изучаются нейтрино высоких энергий и их взаимодействия. На нейтринной обсерватории ИЯИ, расположенной на Северном Кавказе глубоко в недрах гор, занимаются регистрацией нейтрино, рожденных космическими лучами в атмосфере на противоположной стороне планеты и прошедших сквозь толщу Земли. Там же ведется подготовка к экспериментам для исследований солнечных нейтрино, которые помогут детальнее понять процессы, протекающие на Солнце.

В 1982 г. в нашей стране появился еще один центр, где начато изучение нейтрино¹. В последние годы выяснилось, что нейтринные исследования на

ядерных реакторах представляют гораздо больший интерес, чем это казалось раньше. Реакторные нейтрино обладают низкой энергией, однако их преимущество состоит в том, что мощность нейтринного излучения, генерируемого современными ядерными реакторами, достаточно велика.

Запросы практики, с одной стороны, и развитие теоретических идей — с другой, поставили перед исследователями новые задачи; прогресс в технике эксперимента сделал эти задачи выполнимыми. Как результат — на Ровенской атомной электростанции была создана специальная нейтринная лаборатория. Наряду с фундаментальными проблемами, здесь впервые за тридцатилетнюю историю нейтринных исследований предметом изучения станут возможности практического применения нейтринного излучения.

Не пытаясь охватить все возможные направления работ, отметим два из них: поиски нейтринных осцилляций и попытки осуществления контроля за недоступными прямому наблюдению процессами, происходящими в активной зоне работающего ядерного реактора.

Мощные потоки нейтрино, генерируемые ядерным реактором, возникают в результате β -распада ядер-осколков, образующихся в реакции деления урана и плутония. Напомним, что при β -распаде происходит превращение нейтрона в протон с испусканием электрона e^- и антинейтрино $\bar{\nu}_e$:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e.$$

Нейтринный сцинтилляционный спектрометр, установленный в лаборатории, регистрирует эти реакторные нейтрино по реакции, обратной β -распаду нейтрона:

$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+.$$

В органическом сцинтилляторе спектрометра протон атома водорода превращается под дей-

ствием нейтрино в позитрон e^+ и нейтрон. Такая реакция имеет пороговый характер: чтобы вызвать превращение протона в нейтрон, $\bar{\nu}_e$ должно обладать энергией, не меньшей 1,8 МэВ. Если энергия нейтрино больше 1,8 МэВ, ее избыток передается позитрону. В спектрометре как раз и измеряется энергия позитронов, равная энергии нейтрино за вычетом 1,8 МэВ. Это позволяет восстановить энергетический состав нейтринного излучения, падающего на прибор, или, иными словами, спектр $\bar{\nu}_e$.

Как же можно обнаружить нейтринные осцилляции? Напомним, что так, следуя Б. М. Понтекорво, называют удивительный (пока, правда, гипотетический) процесс самопроизвольного превращения одного вида нейтрино в другой². В данном случае идет речь о превращении рожденного в реакторе электронного антинейтрино, например, в мюонное. Мюонное нейтрино не способно превратить протоны сцинтиллятора в нейтроны — для этого у него не хватит энергии (пороговая энергия такой реакции порядка 100 МэВ, а таких нейтрино в пучке из реактора нет). Таким образом, мюонное нейтрино становится невидимым, как бы исчезает. Процесс превращения, однако, на этом не кончается: через какое-то время мюонное нейтрино должно снова стать электронным и т. д. Нейтрино колеблется между двумя состояниями — отсюда и термин «осцилляции». Теория не дает пока каких-либо указаний на то, какое время превращения одного типа нейтрино в другой. Из теории относительности следует, что оно должно расти с энер-

¹ Боровой А. А., Микаэлян Л. А. — Атомная энергия, 1983, т. 54, вып. 2, с. 143.

² Биленький С. М., Понтекорво Б. М. — Успехи физ. наук, 1977, т. 123, с. 181. См. также: Микаэлян Л. А. Нейтрино. — Природа, 1979, № 6, с. 20.

гий нейтрино. Чем больше энергия, тем ближе скорость нейтрино к скорости света и тем дальше от реактора может произойти превращение. Если масса нейтрино в точности равна нулю, его скорость строго равна скорости света. В этом случае период осцилляций превращается в бесконечность, и процесс наблюдать нельзя.

Осцилляции, если они есть, должны привести к искажению нейтринного спектра, измеренного на данном расстоянии от реактора. Это произойдет вследствие того, что нейтрино разных энергий достигнут детектора в разной фазе своего превращения. При изменении расстояния между реактором и детектором может измениться и форма спектра. Поиски этих факторов и намечено осуществить в нейтринной лаборатории на Ровенской АЭС.

Осцилляции пока не наблюдались. Их обнаружение имело бы огромное значение не только для физики элементарных частиц, но и для понимания строения Вселенной в целом. Существование осцилляций означало бы, что нейтрино имеют отличную от нуля массу. Это, в частности, могло бы решить проблему «недостающей» массы Вселенной³.

Обратимся теперь к одному из возможных аспектов практического использования нейтринного излучения реактора. Здесь также определяющую роль играет измерение нейтринных спектров.

Стремительное развитие ядерной энергетики во многих странах имеет и свою негативную сторону: в процессе эксплуатации АЭС в реакторе накапливается стратегический материал — плутоний, который может быть использован для создания атомного оружия. В начале работы вновь построенного реактора плутония в нем нет, и источником энергии служит реакция деления изотопа урана ^{235}U . Но присутствующий в реакторе

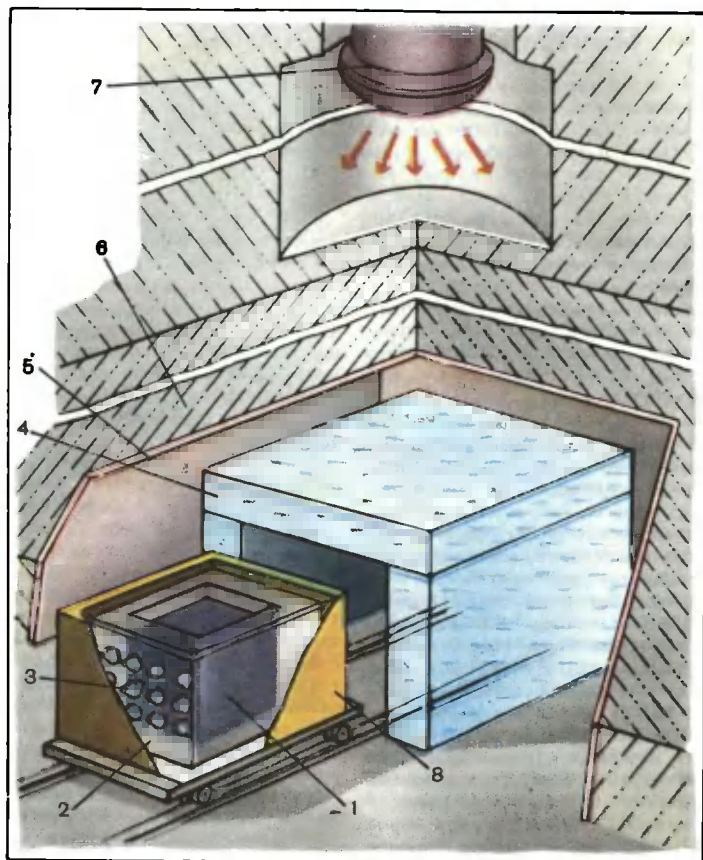


Схема нейтринной лаборатории на Ровенской АЭС: 1 — сантиметрационный спектрометр нейтрино; 2 — электронная система, работающая по методу антисовпадений. Она отсортировывает сигналы, связанные с μ -мезонами; 3 — фотоумножители; 4 — защита из воды. В ней почти не происходит генерации нейтронов космическими мюонами; кроме того, она защищает детектор от внешних нейтронов; 5 — стальная обшивка толщиной 16 см. Поглощает γ -излучение урана и тория, содержащихся в бетоне; 6 — тяжелый бетон — основная защита от нейтронов ядерного реактора; 7 — активная зона реактора — источник нейтрино; 8 — светозащитный кожух спектрометра.

плутоний. Существуют международные договоры, призванные исключить возможность неконтролируемой утечки плутония. Однако прямого метода контроля за его накоплением в работающем ядерном реакторе пока нет.

Несколько лет назад было показано, что нейтринное излучение осколков деления урана и плутония существенно различно по своему спектральному составу⁴. Это и открывает принципиальную возможность создания совершенно нового метода контроля за плутонием непосредственно в процессе его рождения. В начале работы реактора его нейтринный спектр полностью определяется изотопом ^{235}U . В дальнейшем, по мере накопления плутония, пропор-

³ О космологических следствиях существования массы у нейтрино см.: Бисноватый-Коган Г. С. Нейтрино во Вселенной. — Природа, 1982, № 10. с. 26.

основной изотоп ^{238}U захватывает нейтроны и путем двух последовательных β -распадов довольно быстро превращается сначала в нептуний, а затем в

⁴ Боровой А. А., Микаэлян Л. А. — Атомная энергия, 1978, т. 44, с. 508.

ционально растет его вклад в спектр нейтрино. Потенциальные достоинства предлагаемого метода состоят в том, что контроль может осуществляться дистанционно, с помощью автономной аппаратуры, никак не связанной с обследуемым реактором и его персоналом: ведь нейтрино свободно проникает сквозь биологическую защиту реактора, стены зданий и другие препятствия.

От идеи до ее реализации лежит, однако, немалая дистанция. В то время, когда возникли изложенные соображения, существовали лишь отрывочные сведения о регистрации нейтрино, генерируемого в реакторах, и спектральный анализ нейтринного излучения был совершенно не освоен. Предстояло разработать и создать нейтринные спектрометры. Нужно было обзавестись также достаточно мощным источником нейтрино для проведения соответствующих исследований. Так возникла конкретная программа. Авторы принялись за разработку нейтринной спектрометрии, а на проектировавшейся в то время Ровенской АЭС было решено создать нейтринную лабораторию.

Строительство электростанции началось именно с этой лаборатории — ведь она располагается на самой низкой отметке, под реактором. Вскоре на строительной площадке, на плечах строителей появились совершенно новые лица — специалисты в области ядерной физики и элементарных частиц. Впрочем, их нелегко было отличить от строителей: такие же, как у всех, тяжелые сапоги, телогрейки, каски, обветренные лица.

Нейтронная лаборатория с ее прихотливыми для строительного комплекса АЭС запросами доставляла немало хлопот дирекции станции и строителям. Физикам, например, понадобилось автономное электропитание, вентиляция, отдельный вход, они настояли на включении в проект материалов, не входящих в стандартный строительный ассортимент АЭС. И в том, что лаборатория сейчас существует, — огромная заслуга директора АЭС В. А. Коровкина, руководителя строительных организаций И. П. Смятня, проектировщиков, прорабов, рабочих.

Это они «на ходу» изобретали выходы из совершенно неожиданных осложнений. Даже когда до пуска электростанции оставались считанные недели, вопрос о нейтрино был одним из первых на заседаниях штаба стройки. И сейчас лаборатория функционирует благодаря постоянной и разносторонней помощи персонала АЭС.

Основное помещение лаборатории — небольшой зал, где расположены нейтринные детекторы. Его площадь $6,5 \times 6,5$ м, высота 3,5 м. Конструкция этого помещения учитывает специфику проведения нейтринных экспериментов. Ведь вероятность поглощения нейтрино веществом чрезвычайно мала. Описывая необыкновенную проникающую способность нейтрино, часто прибегают к очень образным и впечатляющим сравнениям. Говорят, например, что земной шар прозрачнее для нейтрино, чем для света оконное стекло, или что поток нейтрино может пройти, почти не поглощаясь, сквозь слой стали толщиной в 150 млн км. Это действительно так. И все же из 10^{21} штук нейтрино, проходящих через спектрометр за одни сутки, около тысячи поглощаются, вызывая интересующую нас реакцию обратного β -распада. Трудность эксперимента состоит в том, что за это же время на прибор обрушивается огромное количество нейтронов и γ -квантов, и почти каждый из них «застевает» в нем. В этом и состоит вся проблема. Если не принять исключительных мер предосторожности, то относительно слабый сигнал от нейтрино станет совершенно незаметным на фоне этих, не имеющих отношения к делу, отсчетов. Часть функций в решении этой сложной задачи была переложена на конструкцию спектрометра и логику отбора и «отбраковки» событий. Этой стороны вопроса мы здесь касаться не будем.

Кратко опишем комплекс мер, который, собственно, определил специфику конструкции самой лаборатории. Детектор со всех сторон окружен пластинами твердого скинтиллятора, в которых каждый μ -мезон космического происхождения, проникающий в детектор, дает световую вспышку, фиксируемую

электронной схемой антисовпадений. Таких событий довольно много — в полторы тысячи раз больше, чем нейтринных. И каждый раз выдается сигнал: «Внимание, появился μ -мезон, регистрация запрещена». Но если μ -мезон и не попал непосредственно в детектор, то при соударении с ядрами окружающих материалов он может произвести «взрыв», при котором будут выброшены нейтроны и γ -кванты. В тяжелых материалах, таких как свинец или вольфрам, этот эффект очень велик. Поэтому вокруг детектора помещены только легкие вещества — полиэтилен и вода⁵. Вода выполняет еще одну функцию — поглощает нейтроны, которые рождаются в бетоне стен и перекрытий. Источники этих нейтронов — радиоактивные элементы уран и торий, содержащиеся в бетоне. Связанное с этими элементами γ -излучение примерно в сто раз ослабляется слоем стали толщиной в 16 см, которым облицованы потолок, пол и стены помещения. И, наконец, верхнее перекрытие, отделяющее детекторы нейтрино от собственно реактора. Оно выполнено из специального, так называемого тяжелого бетона. Здесь очень важно было не допустить ошибки ни в расчете его толщины, ни в исполнении. Ведь нейтронов в реакторе рождается очень много — примерно столько же, сколько самих нейтрино, и нужно, чтобы детектор был надежно защищен от них. Проверка показала, что здесь все было сделано правильно.

В конце 1982 г. спектрометр зарегистрировал первые тысячи реакторных нейтрино⁶. Полезный сигнал не только не «тонет» в фоне, но, наоборот, заметно его превышает. Физики и специалисты по электронике осваивают нейтринную спектроскопию.

⁵ Это одно из маленьких открытий. Любопытно отметить, что Р. Мессбауэр рассказывал нам осенью 1982 г., что он тоже недавно пришел к выводу, что тяжелые материалы приносят один вред.

⁶ Афонин А. И. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 37, вып. 2, с. 122.

Автоматическое управление плазмой в магнитных ловушках

Ю. И. Самойленко, В. А. Чуянов



Юрий Иванович Самойленко, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом динамики управления быстропротекающими процессами Института кибернетики им. В. М. Глушкова АН УССР. Специалист в области разработки методов и систем управления неустойчивыми процессами в сплошных средах. В настоящее время занимается теорией управления квантовомеханическими процессами.



Валерий Алексеевич Чуянов, доктор физико-математических наук, начальник лаборатории Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Основная область научных интересов — управляемый термоядерный синтез. Член редколлегии журнала «Природа». Лауреат премии Ленинского комсомола.

Лет пятнадцать назад, когда начались исследования, о результатах которых пойдет речь ниже, само сочетание слов «плазма» и «управление» казалось противоестественным для всех, кто более или менее близко был знаком с экспериментальной физикой. Шло второе десятилетие исследований по управляемому термоядерному синтезу (УТС), но неустойчивость плазмы, ее способность «ускользнуть» из самых хитроумных ловушек, придуманных физиками, все еще оставалась основным препятствием на пути к желанной цели. Дело в том, что термоядерная плазма по своей природе термодинамически неравновесна: по меньшей мере, в ней существуют токи из-за не-

устранимых градиентов плотности и температуры и, следовательно, могут развиваться различные неустойчивости.

Как бороться с ними и как вообще поддерживать тело в состоянии неустойчивого равновесия? Существуют два подхода к этой проблеме. Первый состоит в том, чтобы с помощью специальных «подпорок» обеспечить устойчивость состояния тела, например поместить его в потенциальную яму (силовое поле, препятствующее любым отклонениям тела от положения равновесия). Очевидно, что это поле должно существовать постоянно во всем объеме, окружающем неустойчивое тело, а глубина потенциальной ямы — быть больше, чем максимальные возмож-

ные флуктуации энергии тела под влиянием внешних воздействий. В исследованиях по УТС этот подход реализуется, в частности, в системах с абсолютным минимумом магнитного поля (так называемой магнитной ямой). В подобных системах (ловушках) магнитное поле нарастает по мере удаления в любом направлении от некоторой точки — центра ловушки. С помощью таких систем удалось успешно подавить желобковую неустойчивость в ловушках с магнитными пробками¹.

Однако в тороидальных системах, которые в настоящее время в работах по УТС признаются наиболее перспективными, создание абсолютного минимума магнитного поля, как было строго доказано, принципиально невозможно. Да и в ловушках с магнитными пробками стабилизация с помощью магнитной ямы сопряжена с большими затратами энергии на создание и поддержание стабилизирующего магнитного поля вне объема, занятого плазмой, а также с нарушением аксиальной симметрии ловушки, что в некоторых случаях приводит к интенсивному выходу частиц из нее.

Суть второго подхода заключается в том, чтобы следить за отклонениями тела от положения равновесия и возвращать его обратно с помощью системы автоматического управления. В этом случае необходимое силовое поле создается только в определенные моменты времени и в нужных местах. При высоких чувствительности и быстродействии такой следящей системы для поддержания равновесия достаточно управляющих воздействий с очень малыми амплитудами, которые определяются тепловыми шумами.

Ясно, что второй путь идейно значительно сложнее. Он требует детального знания свойств и структуры объекта, умения измерять параметры, определяющие его состояние, и воздействовать на них. Но зато этот путь энергетически выгоднее, он в принципе универсален, избирателен по отношению к виду неустойчивого движения и позволяет поддерживать устойчивость без ущерба для других ценных качеств объекта.

Исторический опыт учит, что по мере развития той или иной области науки и техники, с повышением требований к

какой-либо системе, к эффективности использования в ней материалов и источников энергии роль автоматического управления возрастает. Применение автоматики позволяет управлять процессами в оптимальных предельных режимах, на грани потери устойчивости, избегая качественных изменений в самом объекте или окружающей его среде.

Естественно предположить, что исследования по УТС тоже должны пойти по этому пути, если, конечно, в принципе возможно создание методов и технических средств управления столь своеобразным объектом, как термоядерная плазма. Ведь речь идет о системе с бесконечным числом степеней свободы, с огромным внутренним энерго содержанием и очень малой инерционностью, о системе, способной перемещаться в пространстве со скоростями, сопоставимыми со скоростью света. Кроме того, знания о внутренней структуре и законах ее поведения еще во многом неточны и ограничены.

Однако реальная ситуация — из-за присущих плазме ограничений на длины волн неустойчивых колебаний — оказалась гораздо благоприятнее, так что в результате пятнадцатилетних исследований к настоящему времени удалось создать достаточно надежные штатные (т. е. постоянно используемые, а не только экспериментальные) системы обеспечения равновесия и устойчивости плазмы в термоядерных установках.

Тем самым был дан однозначный и положительный ответ на поставленный выше вопрос о возможности управления термоядерной плазмой.

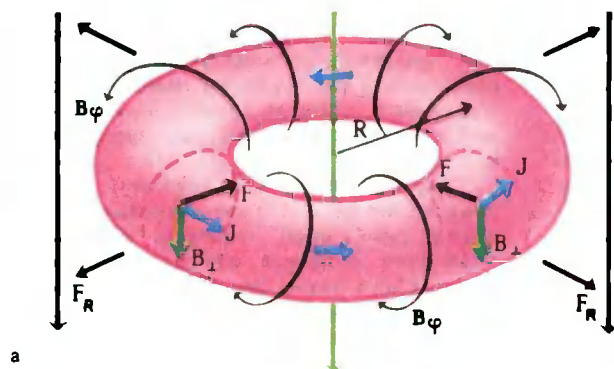
РАВНОВЕСИЕ ПЛАЗМЫ В ТОКАМАКАХ

Принцип действия систем автоматического управления поведением плазмы в термоядерном эксперименте удобно рассмотреть на простейшем примере плазменного шнура в токамаке².

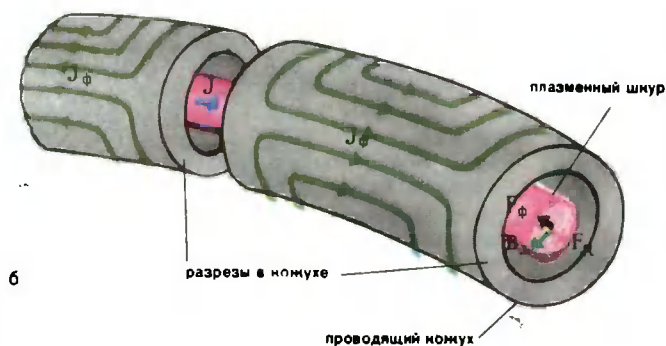
Плазма в токамаке имеет вид свернутого в тор шнура, вдоль которого протекает электрический ток. Этот шнур помещен в сильное тороидальное магнитное поле. Сам по себе такой плазмен-

¹ Подробнее см.: Чуянов В. А. Второе рождение открытых ловушек. — Природа, 1982, № 2, с. 2.

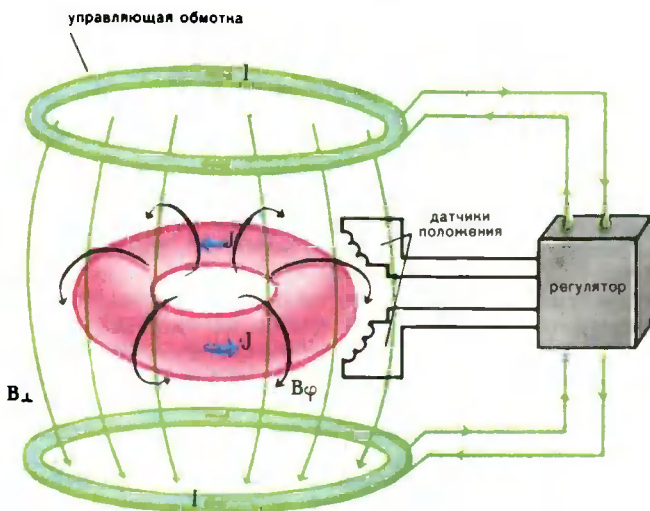
² Принцип действия и конструкция токамака (тороидальной камеры с магнитным полем) довольно подробно описаны в статьях: Кадомцев Б. Б. Физика токамаков. — Природа, 1979, № 2, с. 21; Стрелков В. С. Исследования горячей плазмы на Токамаке-10. — Природа, 1977, № 11, с. 72.



а



б



в

Поддержание равновесия плазменного шнура с током по большому радиусу тора в токамаке:

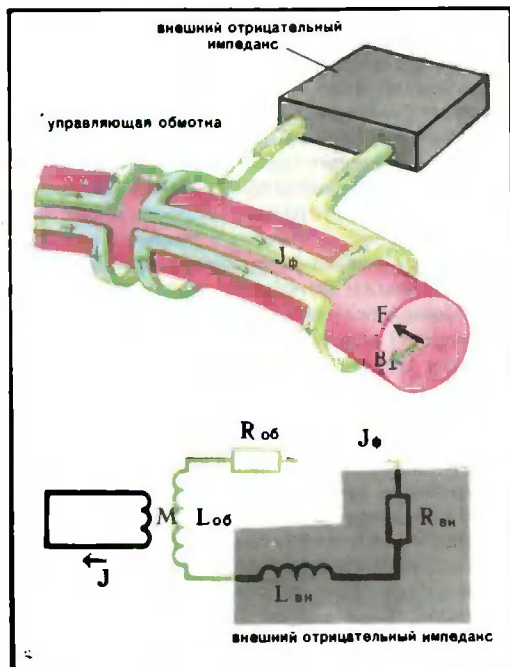
а — внешним магнитным полем. Взаимодействие магнитного поля B_ϕ плазменного тока J с вертикальным магнитным полем $B_\perp$ (катушки, создающие это поле, на рисунке не показаны) приводит к появлению силы $F = [J \times B_\perp]$ с, направленной вдоль большого радиуса R тора к его центру и уравновешивающей силу $F_R \sim J/R$, растягивающую шнур (равновесие возможно лишь при очень точном подборе величины $B_\perp$);

б — вихревыми токами Фуко в сплошном проводящем кожухе. Сила равновесия F_ϕ требуемой величины автоматически создается магнитным полем $B_\perp$ токов Фуко J_ϕ , возникающих в кожухе при движении плазменного шнура. Время существования этого поля ограничено временем затухания вихревых токов в кожухе. Для их поддержания шнур должен все время увеличивать свой большой радиус; в — системой автоматического управления. Ток I в управляющих обмотках, создающих вертикальное поле равновесия $B_\perp$, изменяется регулятором в соответствии с отклонениями шнура от положения равновесия, определяемыми датчиками положения.

ный шнур не находится в равновесии и стремится увеличить свой радиус (большой радиус тора). К подобному расширению приводят несколько причин: отталкивание противоположно направленных токов, давление плазмы (так же, как давление воздуха, накачиваемого в автомобильную шину в форме тора, увеличивает большой радиус этого тора), взаимодействие силовых линий магнитного поля. Поэтому сила, растягивающая плазменный шнур, сложным образом зависит от силы тока, давления плазмы, радиуса шнура и распределения тока по его сечению.

Еще на заре термоядерных исследований Г. И. Будкер предложил для предотвращения «расширения» шнура использовать внешнее магнитное поле, перпендикулярное плоскости витка с током и направленное навстречу магнитному полю тока внутри витка (и, стало быть, по полю снаружи от витка). Легко видеть, что такое поле (его принято называть вертикальным, так как в экспериментах плазменный шнур обычно располагается в горизонтальной плоскости), взаимодействуя с током в шнуре, создает силу, направленную к центру тора и компенсирующую радиальное растяжение. Однако все параметры плазмы, от которых зависит растягивающая сила, изменяются во времени, а точность поддержания большого радиуса тора должна быть на уровне 0,5—1 см (при типичном его значении в современных экспериментальных установках порядка 1—2 м). Обеспечение столь высокой точности программным образом, очевидно, невозможно, и, следовательно, необходима следящая система, которая автоматически создаст требуемое вертикальное поле равновесия. М. А. Леонтович предложил простое и остроумное решение этой проблемы. Если окружить шнур проводящим тороидальным кожухом, то при движении шнура изменение его магнитного поля приведет к возникновению в кожухе вихревых токов Фуко, автоматически создающих вертикальное магнитное поле, необходимое для равновесия шнура. Проводящий кожух, однако, всегда имеет конечное электрическое сопротивление, и индуцируемые в нем вихревые токи быстро затухают. Для их поддержания шнур должен непрерывно двигаться в направлении большого радиуса тора со скоростью, которая хотя и меньше на много порядков скорости движения свободного шнура, тем не менее, даже при использовании в качестве материала кожуха лучших проводников, может составлять несколько метров в секунду.

Пока эксперименты проводились на установках небольшого размера и с незначительным временем существования плазмы, такие скорости были вполне допустимы, и именно так и поддерживалось равновесие плазменного шнура в токамаках. При переходе же к большим установкам и длительностям разряда порядка секунды этот способ становится неприменимым. Тем более он непригоден для будущего термоядерного реактора. В настоящее время функционирование крупных установок типа токамак немыслимо без специальной авто-



Конструктивная (вверху) и электрическая (внизу) схемы поддержания равновесия плазмы в токамаке управляющей обмоткой с внешним отрицательным импедансом. Смещение плазменного шнура порождает в обмотке токи Фуко J_ϕ . Внешнее отрицательное сопротивление $R_{вн}$ компенсирует омические потери в обмотке ($R_{об} + R_{вн} = 0$) и усиливает ток в ней за счет уменьшения суммарной индуктивности ($L_{об} + L_{вн} < L_{об}$) при сохранении взаимной индуктивности M между обмоткой и плазменным шнуром с током J . По закону электромагнитной индукции изменение силы тока δJ_ϕ в обмотке определяется выражением: $\delta J_\phi \sim \delta \Phi \cdot M / (L_{об} + L_{вн})$.

матической системы управления равновесием, которая с помощью электромагнитных датчиков измеряет положение плазменного шнура и управляет вертикальным полем, обеспечивающим равновесие.

Принципиально такая система представляется очень простой, однако ее реальное техническое осуществление оказалось весьма сложным делом. Индукция вертикального магнитного поля, необходимого для поддержания равновесия, достигает в современных установках нескольких килогаусс, а объем, занимаемый полем, — десятков (в реакторе — сотен) кубических метров. Характерные времена изменения этого поля — миллисекунды, а в некоторых аварийных ситуациях (при развитии неустойчивостей) — доли миллисекунды. Поэтому мощности, требуемые для управления равновесием, составляют десятки мегаватт. В таких условиях необходимы: тщательная отработка инженерного решения системы управления с учетом всех особенностей поведения плазмы в реальной установке; знание токов, протекающих по элементам конструкции, и создаваемых ими магнитных полей; предсказание и компенсация возмущений, действующих на плазму (таким возмущением является, например, нагрев плазмы, меняющий ее давление). Регулировка всех магнитных полей и магнитных потоков, влияющих на поведение плазменного шнура и ток в плазме, должна при этом проводиться синхронно. Подобная система релейного типа, состоящая из коммутационных элементов с двумя или больше состояниями устойчивого равновесия и основанная на использовании мощных тиристорных (полупроводниковых переключателей), разработана в настоящее время в Научно-исследовательском институте электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова, а ее действующая модель опробована на токамаке «Туман-3» в Ленинградском физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе. Эта система позволяет поддерживать большой радиус шнура с точностью до нескольких миллиметров в сложных меняющихся во времени условиях, а при желании экспериментаторов — и перемещать шнур по большому радиусу, осуществляя таким образом сжатие и нагрев плазмы.

Следящая система с успехом заменяет проводящий кожух в крупных современных установках и удерживает плазму лучше него — с высокой точностью и сколь угодно долго. Однако такая система имеет и недостатки: в частности, она потребляет энергию от внешнего источника,

тогда как в кожухе для поддержания равновесия расходуется энергия самой плазмы; при требуемых огромных мощностях это обстоятельство весьма существенно. Оригинальный способ использования энергии движения самого плазменного шнура для создания поля равновесия предложен в Институте кибернетики им. В. М. Глушкова АН УССР. С этой целью сплошной кожух заменили обмоткой, конфигурация которой соответствует форме вихревых токов в кожухе. Если эту обмотку замкнуть накоротко, то она будет действовать подобно кожуху: движение шнура приведет к возникновению в ней тока, поле которого обеспечит равновесие шнура. Но из-за сопротивления обмотки ток в ней будет затухать. Разомкнем обмотку и включим в нее элемент, обладающий отрицательным сопротивлением¹. Суммарное сопротивление обмотки и этого элемента станет меньше сопротивления короткозамкнутой обмотки, и ток в ней будет затухать слабее. Делая внешнее отрицательное сопротивление равным положительному сопротивлению самой обмотки, можно обратить полное сопротивление в нуль. При этом ток в обмотке затухать не будет (необходимо, однако, соблюдать определенную осторожность, ибо, если полное сопротивление цепи окажется отрицательным, в системе возникнет неустойчивость, ток в ней скачком возрастет до предела, определяемого нелинейными характеристиками отрицательного сопротивления). В такой обмотке, связанной с внешним отрицательным сопротивлением, ток создается за счет движения шнура, а энергия внешнего источника (без него нельзя технически реализовать отрицательное сопротивление) тратится лишь на компенсацию омических потерь.

¹ Сопротивление проводника, как известно, определяется отношением падения напряжения на нем к протекающему через него току. Для обычных проводников увеличение приложенного напряжения приводит к росту тока, и наоборот, т. е. их сопротивление положительно. При включении в цепь активного элемента, содержащего источник энергии, напряжение на нем и сила тока, протекающего через него, могут быть связаны между собой более сложным образом. Если увеличение тока сопровождается уменьшением падения напряжения, такой элемент характеризуется отрицательным сопротивлением. Аналогично вводятся отрицательная емкость и индуктивность. Элементы с отрицательным сопротивлением являются необходимыми компонентами генераторов электромагнитных колебаний.

Регулирующие свойства такой обмотки улучшаются, если внешний элемент обладает не только отрицательным сопротивлением, но и отрицательной индуктивностью. Ток, создаваемый в обмотке за счет движения плазмы, пропорционален отношению взаимной индуктивности плазменного шнура и обмотки к индуктивности цепи обмотки. Подключение внешней отрицательной индуктивности уменьшает полную индуктивность цепи обмотки и, следовательно, усиливает наведенный в ней ток. Управление равновесием шнура с помощью обмотки, внешний элемент которой имеет отрицательный импеданс (полное сопротивление), удалось осуществить экспериментально в 1971 г. в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова на токамаке ТО-1.

Это был первый в мире эксперимент по автоматическому управлению равновесием плазмы в токамаке, после которого системы автоматического управления стали внедряться практически на всех крупных экспериментальных установках этого типа. Оригинальная сторона этого эксперимента заключалась также и в том, что установка не имела датчиков, определяющих положение плазменного шнура: сама обмотка служила одновременно и датчиком положения шнура, и регулирующим элементом, воздействующим на шнур. Мы не станем останавливаться на технических методах реализации устройств с отрицательным импедансом — они достаточно разнообразны. Очевидно, что в них всегда должен входить источник энергии (пассивные элементы могут обладать лишь положительным импедансом). Различные варианты таких систем предложены и исследованы в Институте кибернетики им. В. М. Глушкова АН УССР. Они находят свое применение не только в задаче поддержания равновесия термоядерной плазмы, но и для стабилизации различных неустойчивостей, возникающих в плазме и в других сплошных средах (в частности, для обеспечения устойчивости при плавке сверхчистого металла в вакууме без контакта «подвешенной» расплавленной капли со стенками рабочей камеры).

Использование следящих систем позволяет создавать новые плазменные конфигурации, которые не удается получить без их помощи. Теоретические исследования приводят к заключению о том, что удержание плазмы в токамаке становится более совершенным (продолжительным), а допустимое давление плазмы существенно увеличивается, если сечение плазменно-

го шнура сделать вытянутым по вертикали. Но притяжение параллельных токов в шнуре мешает такому вытягиванию. Чтобы его осуществить, выше и ниже шнура помещают специальные обмотки, по которым пропускают ток, параллельный плазменному. Поле этих обмоток будет растягивать шнур (см. рис. на с. 52). Однако при этом положение шнура оказывается неустойчивым в вертикальном направлении: любое малое смещение шнура от средней плоскости вызывает появление нескомпенсированной силы, направленной вверх или вниз, а так как масса шнура очень мала, он под действием этой силы мгновенно «улетает» на стенку камеры. Подобной неустойчивости можно избежать, если при смещениях шнура ослаблять ток в той обмотке, к которой шнур приблизился, и усиливать его в противоположной обмотке (или во вспомогательных витках, создающих управляющее поле такой же геометрии). Без дополнительных пояснений понятно, что в этом случае также применим импедансный принцип организации системы управления, описанный выше. Такие эксперименты были впервые проведены в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова на токамаке Т-8.

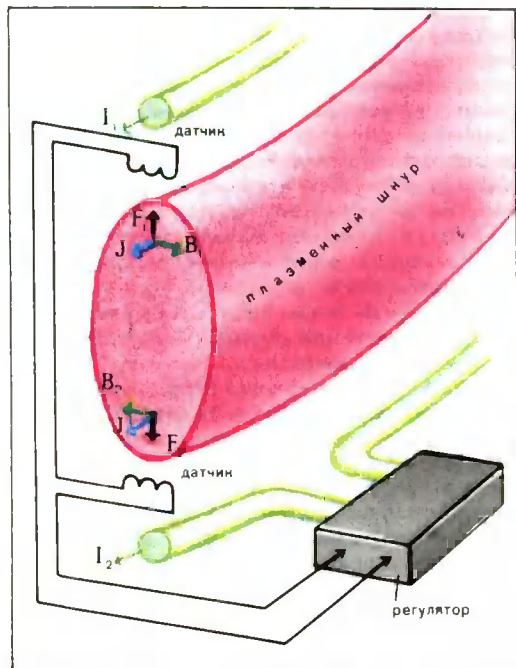
По современным представлениям, термоядерный реактор на основе токамака не может быть экономически приемлемым, если давление плазмы будет менее некоторого предельного значения, недостижимого без перехода к вытянутому по вертикали поперечным сечением шнура, т. е. без использования автоматических систем управления равновесием.

СТАБИЛИЗАЦИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ ПЛАЗМЫ

Рассмотренные примеры демонстрируют важность применения систем автоматического управления для непосредственного воздействия на плазму в термоядерных установках. В этих простейших случаях, однако, характерные свойства плазмы как объекта управления практически незаметны. Единственной «плазменной» особенностью является требование к быстрейшему воздействию систем управления, связанное с чрезвычайно малой инерционностью плазмы. Из-за сильного продольного магнитного поля в задаче поддержания равновесия не проявляются свойства плазмы как сплошной среды — плазменный шнур движется как единое целое. Гораздо сложнее и интереснее применение систем автоматического управления к задаче ста-

билизации неустойчивостей плазмы — для подавления волновых движений, зарождающихся в ней при некоторых специфических условиях и приводящих к ее быстрому уходу из системы удержания. Рассмотрим эту задачу применительно к желобковой неустойчивости, представляющей собой классический пример неустойчивости, которая возникает, например, в ловушках с магнитными пробками.

В однородном магнитном поле заряженные частицы движутся по спиралям, «навиваясь» на силовые линии магнитно-



Равновесие плазмы по вертикали в токамаке с вытянутым поперечным сечением. Магнитные поля B_1 и B_2 токов I_1 и I_2 растягивают плазменный шнур с током I в вертикальном направлении в результате действия сил F_1 и F_2 , определяемых взаимодействием между параллельными токами. Изменение токов I_1 и I_2 при смещении шнура как целого вверх или вниз предотвращает выброс шнура на стенку рабочей камеры.

го поля. В плоскости, перпендикулярной силовым линиям, проекция траектории частицы представляет собой окружность, радиус которой (его называют ларморовским радиусом) пропорционален импульсу частицы и обратно пропорционален напряженности магнитного поля. В том случае, когда магнитное поле неоднородно в пространстве, ларморовский радиус постоянно меняется при движении частицы, и в результате происходит медленное смещение (дрейф) центра вращения в направлении, перпендикулярном направлениям магнитного поля и градиента его напряженности. Если, например, в магнитной ловушке напряженность поля изменяется по радиусу плазменного шнура, то заряженные частицы в ней медленно дрейфуют по азимуту; причем ионы и электроны смещаются в разные стороны. При условии, что распределение плотности плазмы в ловушке азимутально симметрично, такой дрейф не приводит к заметным последствиям.

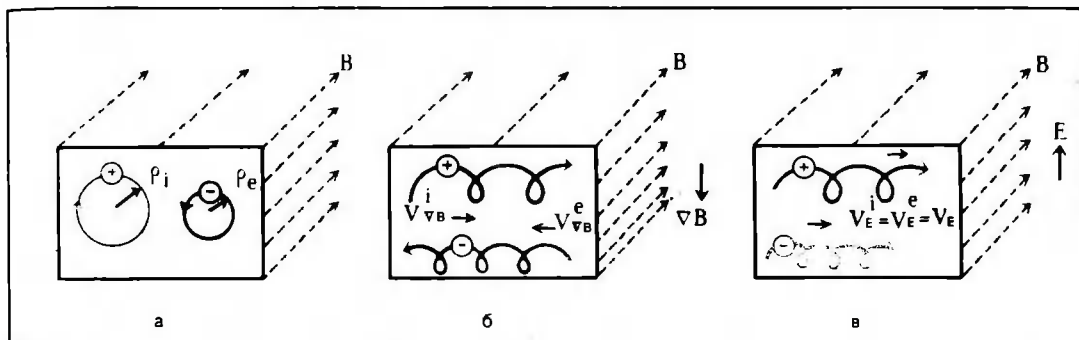
Предположим, однако, что по каким-то причинам возникло отклонение от азимутальной симметрии — на поверхности плазмы образовался выступ или желобок. Тогда направление дрейфа перестанет совпадать с направлением линий уровня равной плотности и перенос частиц по азимуту приведет к образованию областей с избыточным количеством ионов на одной стороне такого выступа и электронов — на другой. Электрическое поле образовавшегося пространственного заряда вызовет движение плазмы в радиальном направлении (это движение называют электрическим дрейфом, оно обусловлено изменением импульса частиц в электрическом поле и, соответственно, ларморовского радиуса).

Радиальное смещение может или усилить начальное возмущение (при этом образуется «язык» и плазма выбрасывается на стенку ловушки) или, напротив, ослабить его. Все зависит от направления градиента магнитного поля. В том случае, когда поле спадает по радиусу, возмущение будет усиливаться и разовьется неустойчивость. Если же поле нарастает по радиусу (в центре ловушки — минимум магнитного поля, или магнитная яма), неустойчивости не будет. В простых аксиально симметричных ловушках с магнитными пробками поле спадает по радиусу и плазма неустойчива. Можно ли устранить эту неустойчивость, не меняя конфигурации магнитного поля? Оказывается, для этого достаточно изменить направление элект-

рического поля, обусловленного разделением зарядов.

Пусть, например, нам удалось каким-либо образом определить направление напряженности электрического поля, возникшего в плазме в результате упомянутого смещения зарядов разного знака в противоположные стороны. Подадим на электроды, окружающие плазменный шнур, напряжение от внешнего источника таким образом, чтобы напряженность суммарного электрического поля имела обратное направление. Радиальный электрический

дрейф в таком поле приведет к подавлению начального возмущения. Системы подобного типа, измеряющие электрические возмущения на поверхности плазмы и управляющие распределением зарядов на внешних электродах, продемонстрировали высокую эффективность при подавлении желобковой неустойчивости плазмы в ловушках с магнитными пробками. Так, на установке «Огра-3» в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова их применение позволило повысить плотность удерживаемой плазмы примерно в 50 раз.



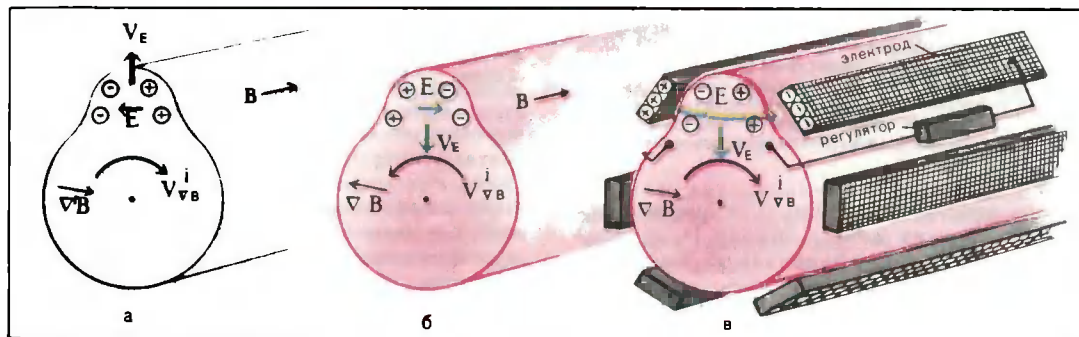
Движение заряженных частиц (е — электроны, i — ионы) в магнитном поле B (показаны проекции траекторий движения частиц на плоскость, перпендикулярную магнитному полю):

а — в однородном магнитном поле радиусы кривизны ρ_i и ρ_e траекторий постоянны;

б — в неоднородном магнитном поле, характеризуемом градиентом ∇B , радиусы кривизны траекторий меняются при движении, в результате чего возникает дрейф — смещение центра вращения

в направлении, перпендикулярном направлениям поля B и его градиента ∇B . Частицы с разными знаками заряда дрейфуют в противоположные стороны со скоростями V_i^{VB} и V_e^{VB} соответственно;

в — в скрещенных электрическом E и магнитном B полях из-за изменения импульса частиц в результате их взаимодействия с электрическим полем возникает так называемый электрический дрейф. При этом частицы с разными знаками зарядов дрейфуют в одну сторону со скоростью V_E .



Образование и подавление желобковой неустойчивости в плазме:

а — в поле B ловушки с магнитными пробками азимутальный дрейф частиц из-за радиального градиента ∇B магнитного поля вызывает разделение зарядов $\oplus$ и $\ominus$ при любых случайных отклонениях распределения плотности плазмы от аксиально-симметричного. Возникающее при этом электрическое поле E с азимутальным направлением силовых линий приводит к дрейфу частиц вдоль радиуса шнура со скоростью V_E и усиливает первоначальное возмущение;

б — в поле с магнитной ямой изменение направления градиента ∇B меняет направление радиального дрейфа, что приводит к ослаблению первоначального возмущения;

в — при наличии системы автоматического управления поле E , создаваемое внешними электродами, потенциал на которых регулируется этой системой в соответствии со смещениями границы плазменного шнура, изменяет направление радиального дрейфа и подавляет неустойчивость.

При использовании таких систем свойства плазмы как сплошной среды проявляются гораздо ярче. Очевидно, что возмущение в плазме может иметь произвольную пространственную структуру. Как же в общем случае выбрать структуру стабилизирующих электродов? В поисках ответа на этот вопрос очень полезным оказался так называемый модовый подход. Суть его в следующем. Из-за азимутальной симметрии шнура любое возмущение в плазме можно представить в виде суммы отдельных мод — синусоидальных волн,

них достаточно двух электродов, расположенных на стенках рабочей камеры.

В реальной системе стабилизации, успешно работавшей в магнитной ловушке «Огра-3», были использованы 12 датчиков и столько же стабилизирующих электродов. Сигналы с датчиков анализировались специальным аналоговым вычислительным устройством, которое определяло амплитуды синусной и косинусной составляющих шести первых азимутальных мод радиального смещения поверхности плазменного шнура, вырабатывало управ-

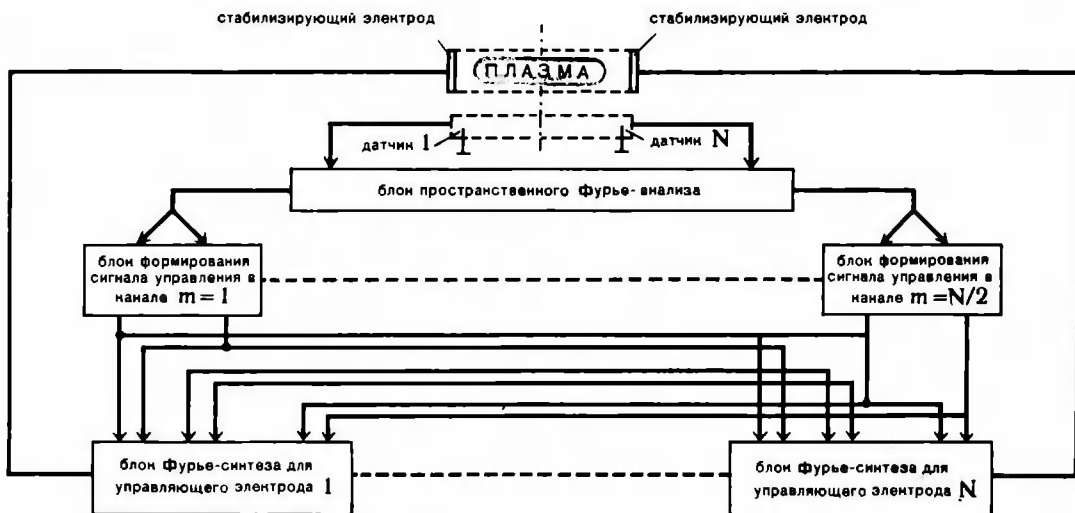


Схема стабилизации желобковой неустойчивости в магнитной ловушке «Огра-3». Пространственный Фурье-анализ [разложение на моды, число которых $N/2$ определяется количеством датчиков N] измеренных возмущений и управляющих воздействий позволил упростить частотные характеристики каждого из $N/2$ каналов управления и стабилизировать три азимутальные моды желобковой неустойчивости.

длина каждой из которых в целое число раз меньше длины обхода (т. е. длины окружности, определяемой радиусом этого шнура). Как выяснилось, такое разложение не только является удобным математическим приемом, но имеет и глубокий физический смысл, поскольку соответствует поведению плазмы, которая, подобно резонатору, из всевозможных возмущений «откликается» лишь на некоторые — с наибольшей длиной волны. Короткие же волны быстро затухают (так же, как затухают механические волны в вязкой жидкости). Поэтому внешняя система должна подавлять лишь небольшое число выделенных неустойчивых мод. Для каждой из

ляющие электрические сигналы и подавало их на стабилизирующие электроды. В экспериментах наблюдались и были подавлены три первые азимутальные моды.

Взаимодействие плазмы с окружающей системой электродов можно описать математически, введя некоторые специфические граничные условия для колебаний, возникающих в плазме. Роль внешней системы при этом сводится к двум факторам: она способна изменять фазовую скорость волн, распространяющихся по поверхности плазмы (иными словами, соотношение между частотой и длиной волны), тем самым нарушая резонанс этих волн с движением частиц. С другой стороны, взаимодействие с внешней системой может приводить к образованию потока энергии, направленного в плазму или из нее, т. е. к затуханию или раскачке волн. Последний механизм особенно удобен для стабилизации слабых, медленно нарастающих во времени неустойчивостей — дрейфовых, циклотронных и т. д.

Электрическое поле не является единственным или важнейшим инструментом воздействия на плазму. Так, системы с магнитным управлением были с успехом использованы для стабилизации винтовых мод в токамаках на установках Института атомной энергии им. И. В. Курчатова и Сухумского физико-технического института им. И. Н. Векуа. Эти системы, правда, в настоящее время еще не достигли такого уровня, как магнитные системы для поддержания равновесия. Однако оценки показывают, что их использование

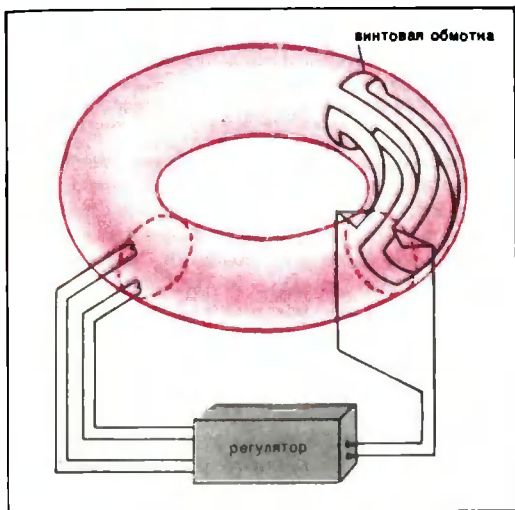


Схема стабилизации винтовых колебаний плазмы в токамаке ТО-1. В двухзаходной винтовой обмотке, окружающей четверть тороидальной камеры, ток, возбуждаемый регулятором в соответствии с возмущениями на поверхности плазменного шнура, создает винтовое магнитное поле, подавляющее эти возмущения. В результате предотвращаются срывы тока в плазме и улучшается ее термозащита.

в будущих термоядерных установках вполне возможно и весьма перспективно, так как позволяет ослабить требования к магнитному полю в них и значительно снизить их стоимость.

Большой интерес представляют системы стабилизации неустойчивостей в плазме и для чисто исследовательских задач. Так, «включая» и «выключая» неустойчивости в необходимые моменты времени, удалось изучить динамику нелинейных колебаний и получить ценную информацию для построения нелинейных моделей плазмы. Изменение частоты и длины волны колебаний позволили экспериментально выяснить, от каких параметров вол-

ны зависит вызываемый ею перенос энергии и частиц в плазме. Во многих случаях результаты оказались достаточно неожиданными и заставили пересмотреть сложившиеся представления. Следует заметить, что отнюдь не все возможности, открываемые системами автоматического управления плазмой, используются в настоящее время. Обнадеживают, например, полученные сотрудниками Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, Института проблем управления АН СССР и Ленинградского физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР предварительные результаты, свидетельствующие о реальности автоматической диагностики плазмы с помощью внешних следящих систем. Эти системы, будучи основаны на математических моделях плазмы и согласуя свои реакции на внешние воздействия с поведением плазмы, позволяют проверять качество таких моделей и автоматически определять начальные условия и переменные коэффициенты в их уравнениях. Применение подобных систем в управлении плазмой существенно повышает его эффективность и уменьшает потребляемые мощности.

Описанный выше модовый подход к организации управления, конечно, нельзя считать единственным возможным и лучшим во всех случаях жизни. В Институте кибернетики им. В. М. Глушкова АН УССР для борьбы с мелкомасштабными возмущениями разрабатывают управляющие системы с периодической структурой, которая напоминает кристаллическую решетку. При малом шаге решетки такая система может рассматриваться как структурно однородная среда, в которой объединены все функции управления с обратной связью: измерение, преобразование информации, усиление мощности и воздействие на объект.

Исследование описанных систем автоматического управления и их использование для воздействия на термоядерную плазму показали, что этот подход обладает огромными возможностями и в применении к такому на первый взгляд чрезвычайно сложному и «неуправляемому» объекту. Еще далеко не все они исследованы до конца. Дальнейшая работа, несомненно, приведет к новым интересным результатам. Однако уже сегодня ясно, что системы автоматического управления равновесием и устойчивостью плазмы становятся существенным элементом будущего термоядерного реактора и их возможности во многом определяют его экономичность.

Начало рудообразования в истории Земли

В. И. Казанский



Вадим Иванович Казанский, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий отделом экзогенных рудных месторождений Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР, заместитель председателя Научного совета по рудообразованию при Отделении геологии, геофизики и геохимии АН СССР, руководитель проекта № 91 «Металлогения докембрия» Международной программы геологической корреляции. Специалист по рудоносным структурам докембрия и генезису редкометалльных месторождений. В «Природе» опубликовал статью: Минеральные богатства древних щитов (1975, № 2).

По мере совершенствования методов изотопной геохронологии начальные этапы геологического развития нашей планеты приобретают все более конкретные и сложные очертания. На смену представлениям о том, что 3,5—3,0 млрд лет назад поверхность Земли имела температуру 150—200°C и была залита потоками вулканических лав, над которыми носились кислотные тучи, появились надежные доказательства существования 3,8 млрд лет назад морских бассейнов, в которых отлагались песчаники, известняки, кремнистые породы, по составу близкие к современным. Такие осадочные породы обнаружены в Западной Гренландии, Восточной Сибири, Южной Африке и других районах. Эти находки подтверждают идею академика А. В. Сидоренко о том, что уже на самых ранних этапах истории Земли, в докембрии, важнейшую роль в образовании литосферы играли процессы выветривания и седиментации (т. е. разрушения горных пород и накопления продуктов этого разрушения), способствовавшие глубокой дифференциации вещества и образованию древнейших полезных ископаемых.

Решение ключевых проблем геологии и металлогении раннего докембрия связано с изучением древнейших структур Земли — архейских зеленокаменных поясов. Они имеют сравнительно неболь-

шие размеры, очень сложную в плане форму и вместе с окружающими их гранито-гнейсами образуют цоколь материков. Возраст поясов 3,8—2,6 млрд лет. Заполняющие их осадочные и вулканогенные толщи накапливались в морских условиях и представлены многократным чередованием основных, ультраосновных и кислых лав и туфов, а также кремнистых и глинистых сланцев, песчаников, конгломератов. Вулканические породы преобладают в нижней части разреза, осадочные — в верхней. Как правило, осадочно-вулканогенные толщи смяты в складки, метаморфизованы и рассечены интрузиями магматических пород.

Именно в зеленокаменных поясах сосредоточена подавляющая часть рудных месторождений архейского возраста. Список их все время расширяется и ныне включает железистые кварциты и пластовые баритовые залежи, относящиеся к вулканогенно-осадочному типу, вулканогенные колчеданные месторождения цветных металлов и сульфидные медно-никелевые месторождения, гидротермальные месторождения золота, редкометалльные пегматиты и др. Исследование этих месторождений отодвигает начало процесса рудообразования к тому рубежу, с которого отсчи-

тывается геологическая история Земли, и в новом свете представляет его эволюцию в связи с общим развитием литосферы.

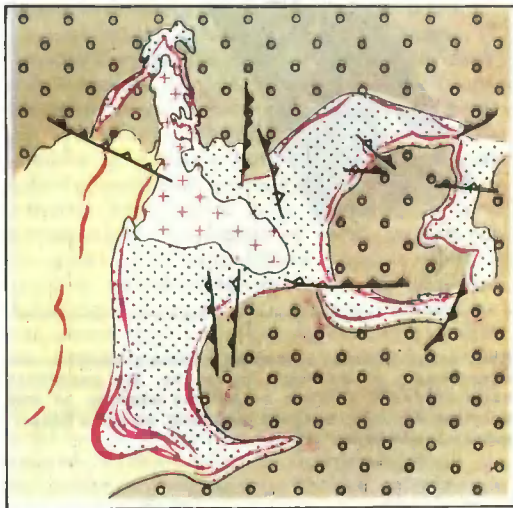
ЖЕЛЕЗИСТЫЕ КВАРЦИТЫ И БАРИТО-ВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

До недавнего времени казалось, что о железистых кварцитах известно все или почти все. А известно было следующее. Железистые кварциты представляют собой рудную формацию, характерную для позднего архея — раннего протерозоя (2,8—1,6 млрд лет). Наиболее крупные их бассейны возникли около 2 млрд лет назад. К ним относятся Кривой Рог, Курская магнитная аномалия, ведущие железорудные районы Индии, Бразилии, Западной Австралии, Северной Америки. Протерозойские железистые кварциты залегают среди осадочно-вулканогенных толщ, образованных в древних морских водоемах, и представлены четырьмя фациями — окисной, карбонатной, силикатной и сульфидной, которые закономерно сменяют одна другую по мере удаления от ранее существовавшей береговой линии. Главная масса железных руд относится к окисной фации и представляет собой чередование тонких слоев кремнезема, гематита и магнетита. Тесная связь протерозойских железистых кварцитов с основными вулканическими породами свидетельствует о том, что железо и кремнезем поступали в бассейн седиментации при подводных извержениях базальтов. Физико-химические расчеты и экспериментальные исследования показывают, что условия совместного осаждения геля кремнезема и гидроокислов железа очень ограничены. Главным фактором осаждения железа было изменение окислительно-восстановительной обстановки в зонах фотосинтеза. Периодические всплески интенсивного цветения фитопланктона вели к окислению Fe^{2+} до Fe^{3+} и осаждению почти нерастворимой гидроокиси железа. Поэтому протерозойские железистые кварциты содержат остатки синезеленых водорослей, количество которых постепенно убывает по направлению в глубь бассейна.

Все эти сведения о железистых кварцитах полностью соответствовали общим представлениям об эволюции нашей планеты. Так, принято было считать, что на заре геологической истории гидросфера не содержала свободного кислорода, необходимого для образования железистых кварцитов, и что он появился лишь в кон-

це архейской эры, когда возникли первые живые организмы.

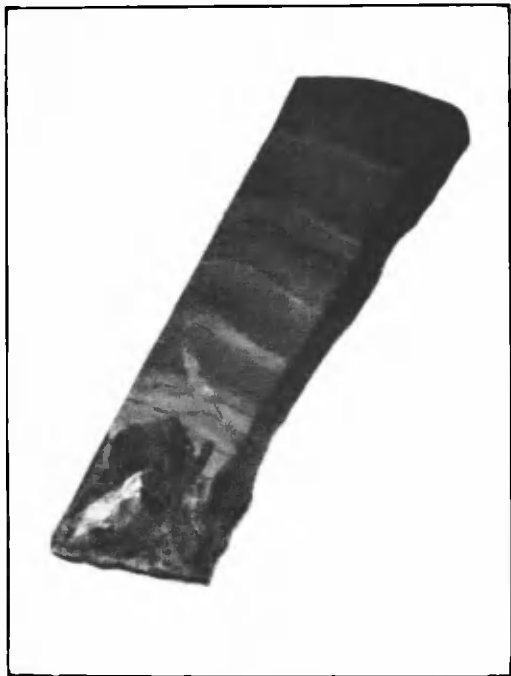
Однако в настоящее время установлено, что железистые кварциты формировались на протяжении всего архея и распространены чрезвычайно широко. Лишь на территории Европейской части СССР они обнаружены на Украине, в Белгородской области, в Белоруссии, Карелии, на Колыском п-ове. Согласно палеорекострукциям, выполненным Г. И. Каляевым и А. И. Стрыгиным, они образовались в условиях открытых и островных морей с ин-



Схематическая карта Костамукшского месторождения железистых кварцитов в Карелии [по В. Я. Горюнову и М. Б. Раевской, с упрощениями].

-  Гранито-гнейсы
-  Граниты
- Архейская железорудная толща:
 -  осадочные породы
 -  вулканогенные породы
 -  железорудные горизонты
 -  Разломы

тенсивным подводным вулканизмом. Состав лав последовательно изменялся от основного до среднего и кислого. Одновременно увеличивалась роль осадочных пород. Наиболее продуктивные железорудные горизонты связаны с кислыми и



Кристаллы барита в раннеархейских карбонатно-кремнистых отложениях Австралии. До недавнего времени такие древние осадочные породы, да еще несущие баритовую минерализацию, не были известны. Уменьшено в 5 раз.

средними вулканитами. Таково Костамушское месторождение в Карелии.

Самые древние железистые кварциты найдены в районе Исуа на западном побережье Гренландии. Их возраст равен 3760 ± 70 млн лет. Они также находятся среди подводных осадочно-вулканогенных отложений и представлены теми же четырьмя фациями, что и в протерозойских бассейнах. Следовательно, условия образования тех и других были сходными в отношении источников железа и кремнезема, а также кислородного режима водной среды. А какую роль в образовании железистых кварцитов Исуа играли живые организмы и процессы фотосинтеза? На этот вопрос нет однозначного ответа. Самые древние из известных остатков синезеленых водорослей обнаружены в осадочных породах возрастом 3,5 млрд лет, а здесь мы имеем дело с более поздними образованиями. Правда, в железистых кварцитах района Исуа имеются скопления графита, но какова его природа — пока неясно.

Не менее интересные вопросы об условиях седиментации в раннем архее возникают в связи с открытием пластовых баритовых месторождений. Впервые они были обнаружены в Южной Африке среди туфогенно-осадочных пород группы Фиг-Три, возраст которых 3,3 млрд лет. Баритовые пласты здесь подстилаются кремнистыми сланцами и перекрыты песчанистыми туффитами; имеются многочисленные признаки осаждения в мелководном бассейне, частичного размыва и переотложения. В Северо-Западной Австралии аналогичные баритовые месторождения имеют еще более древний возраст — 3,5 млрд лет и связаны с группой Уарравуна. Последняя состоит из базальтов, ультраосновных лав и кислых вулканитов, перемежающихся с горизонтами осадочных пород. Детальные литологические наблюдения показали, что некоторые осадочные породы группы Уарравуна образовались вследствие испарения сульфатных рассолов и, следовательно, являются древними эвапоритами. Вследствие слабого метаморфизма в них прекрасно сохранились градационная и косая слоистость, волноприбойные знаки, признаки неоднократного перебива карбонатного и глинистого материала, прерывистые линзы конгломератов. Слабо окатанные обломки в конгломератах сложены подстилающими породами. В самом нижнем горизонте мощностью от 10 до 15 м обнаружены псевдоморфозы кремния по кристаллам гипса и замещившие гипсовые горизонты залежи барита. На месторождении Норт-Пол они протягиваются на многие километры и имеют промышленное значение. Предполагается, что группа Уарравуна отлагалась в мелководной субэвальной обстановке, что тектонический режим в это время был стабильным, а рельеф пологим, но его осложняли, вероятно, наземные вулканические кальдеры.

В настоящее время сульфаты образуются в результате окисления восстановленных соединений серы. Этот процесс происходит при участии сульфатредуцирующих бактерий и сопровождается обогащением серы более тяжелым ее изотопом. Поэтому прослойки сульфатов с «тяжелой» серой считаются признаком ранее существовавшего резервуара свободного кислорода. Такие сульфаты широко распространены в отложениях позднего докембрия, девона, мела, палеогена и неогена. Однако бариты группы Уарравуна не обнаруживают признаков изотопного фракционирования серы. Соотношение изотопов

серы в них отвечает метеоритному стандарту. Возможны два объяснения этой аномалии: либо в архее были распространены не сульфатредуцирующие, а сульфатсинтезирующие организмы, как полагает М. Шидловский, либо сульфаты поступили с поствулканическими растворами. В последнем случае они могли отлагаться внутри вулканической кальдеры, т. е. в условиях иных, чем в современных испаряющихся бассейнах типа Кара-Богаз-Гола.

КОЛЧЕДАННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СУЛЬФИДНЫЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Колчеданные залежи меди, свинца, цинка, кадмия, золота представляют собой оригинальную группу эндогенных (т. е. сформировавшихся на глубине) рудных месторождений, которая обладает наиболее широким возрастным диапазоном. Самое древнее колчеданное месторождение Биг Стабби имеет возраст 3,4 млрд лет и находится в Северо-Западной Австралии, самые молодые формируются в настоящее время на дне Красного моря и в Срединно-Атлантическом хребте.

Наиболее детально архейские колчеданные месторождения изучены в зеленокаменном поясе Абитибби на Канадском щите. Окружающие его гнейсы образовались более 3 млрд лет назад и после регионального метаморфизма подверглись глубокой эрозии. Зеленокаменный комплекс охватывает интервал 2950—2750 млн лет. Нижняя часть его представлена основными и ультраосновными лавами, средняя — богатыми железом базальтами, их туфами, туфобрекчиями и лавобрекчиями. Снизу вверх количество брекчий увеличивается. Наконец, в верхней части преобладают кислые лавы и пирокласты. Осадочные породы — граувакки, конгломераты, песчаники — венчают разрез архейского вулканического комплекса, но встречаются также и на более низких его уровнях.

Э. Димрот в результате исследований последних лет установил, что архейские вулканы образовались в морских условиях на значительных глубинах, поскольку в этих породах слабо представлены пузыристые текстуры, достаточно велики горизонтальные размеры вулканических покровов (особенно риолитов), пирокластические породы имеют подчиненное значение, отсутствуют продукты размыва, широко распространены шаровые лавы. При

этом механизм образования андезитовых и базальтовых потоков был сходным с современными излияниями гавайского типа. Лавы поступали по питающим трещинным каналам и растекались по дну водного бассейна, образуя вулканические брекчии. Излияния риолитов также имели трещинный характер, но сопровождалась ростом вулканических куполов.

Эти наблюдения хорошо согласуются с тем фактом, что древние и молодые колчеданные месторождения сходны и по своему геологическому строению, и по условиям локализации. Они занимают вполне определенное положение в стратиграфическом разрезе, пространственно связаны с древними вулканическими породами, смяты в складки и метаморфизованы. Наличие обломков сульфидов в перекрывающих вулканитах, пересечения колчеданных залежей и сопровождающих их ореолов гидротермальных изменений базальтовыми дайками говорят о том, что архейское колчеданное оруденение есть результат фумарольно-сульфатарной деятельности морских вулканических центров. Данные геологической съемки и палеогеографические реконструкции показывают, что наиболее крупные колчеданные месторождения приурочены к древним вулканическим кальдерам. Последние имеют диаметр около 30 км, отличаются наиболее продолжительной вулканической деятельностью и, как правило, насыщены более поздними интрузиями.

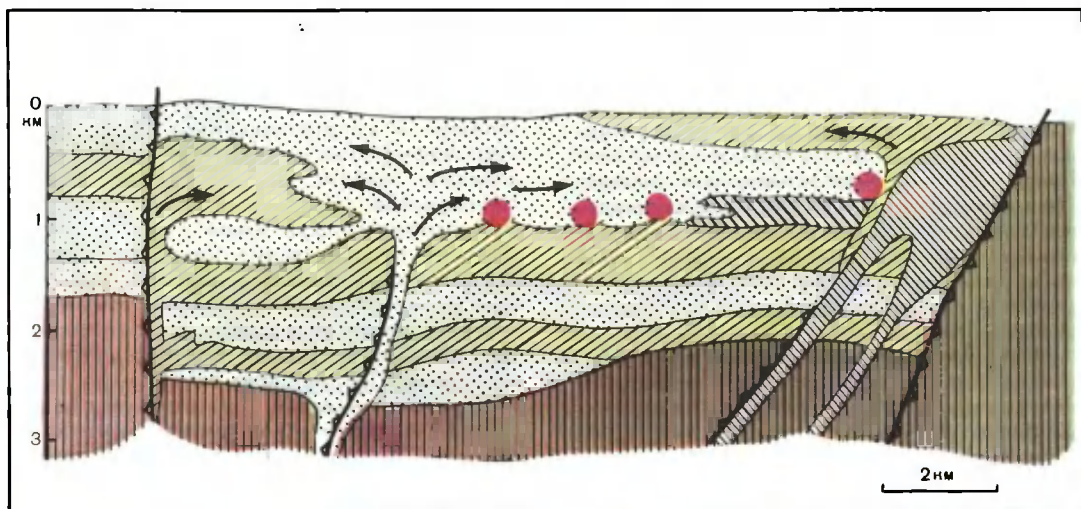
Но если сопоставлять не только базальты, а всю совокупность эффузивных пород, то архейские зеленокаменные пояса будут явно отличаться от современных океанов. Неповторимые черты этим поясам придают покровы коматитов — высокомагнезиальных лав мантийного происхождения, с которыми связано медно-никелевое оруденение.

Генетическая связь медно-никелевых руд с мантийными ультраосновными интрузиями доказана на примере таких известных рудных районов, как Норильск в СССР и Садбери в Канаде. Однако и здесь и там интрузии сравнительно молодого возраста, внедрившиеся в консолидированную земную кору и застывшие на расстоянии 3—5 км от ранее существовавшей земной поверхности, сопровождаются рудами. Вулканогенные же медно-никелевые месторождения образовались 3 млрд лет назад, когда земная кора была еще относительно подвижной и мантийные расплавы изливались непосредственно на дно морских бассейнов.

Самые крупные месторождения этого типа обнаружены в Западной Австралии в зеленокаменном поясе Уилуна-Норсман. Он сложен базальтами, коматиитами, кислыми вулканиитами, осадочными породами, железистыми кварцитами, кремнистыми сланцами, пластовыми интрузиями. Контакты этих отложений с окружающими гранитоидами обычно сопровождаются зонами интенсивного рассланцевания, а сами отложения смяты в линейные и куполовидные складки и рассечены разломами. Австралийские геологи считают, что рост куполов

был вызван расплавлением сиалического фундамента и последующим внедрением гранитных магм в лежащие выше осадочно-вулканогенные толщи. На периферии куполовидных складок и сосредоточены главные медно-никелевые месторождения.

Медно-никелевое оруденение заключено в высокомагнезиальных эффузивных породах, представленных коматиитовыми лавами. Рудные тела имеют плитообразную и линзообразную форму. Снизу вверх руды делятся на массивные и вкрапленные. Никель резко преобладает над



Вертикальный разрез колчеданных месторождений в кальдере Норанда (по Э. Димроту). С такими вулканическими кальдерами связаны наиболее крупные колчеданные месторождения.

 Породы основания кальдеры

Вулканический комплекс кальдеры:

 базальты и андезиты

 риолиты

 туфы

 вулканические бракчи

 Колчеданные месторождения цинка, меди, золота

 Разломы

 Направление течения лав

медью. В подчиненных количествах присутствуют кобальт, палладий, иридий.

Относительно генезиса сульфидных медно-никелевых месторождений, встречающихся в ассоциации с коматиитами, высказаны разные точки зрения. Согласно одной из них, образование месторождений связано с ликвацией (плавлением) богатых сульфидами ультраосновных лав; согласно другой, первично магматическое происхождение имеют только вкрапленные руды, а богатые залежи возникли при метаморфизме. Наиболее вероятно предположение, что месторождения образовались в результате двухстадийного выплавления рудных компонентов из мантии. Кристаллизация частично происходила в субвулканической магматической камере. Окончательная кристаллизация имела место при внедрении сульфидного расплава в уже излившиеся коматиитовые потоки, которые, вероятно, заполняли депрессии морского дна.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА

Как уже отмечалось, на заключительных этапах своего развития зеленокаменные пояса подверглись складчатости, метаморфизму и были рассечены интрузиями, среди которых преобладают интрузии основного состава. В отдельных поясах широко распространены многофазные гранитоидные интрузии. Самые ранние их фазы синхронны со складчатостью, самые поздние отчетливо рассекают складки и контролируются наложенными на них разрывными нарушениями. В ассоциации с поздними гранитоидными интрузиями нередко встречаются редкометалльные пегматиты, оловоносные грейзены, гидротермальные жильные месторождения меди и других цветных металлов. Но масштабы их сравнительно невелики.

Иное дело — гидротермальные месторождения золота архейского возраста. Именно от них пошло название «зеленокаменные пояса», поскольку золотоискатели, устремившиеся в прошлом веке на просторы Канады или Австралии, в качестве одного из главных поисковых признаков использовали избирательную приуроченность этих месторождений к основным вулканогенным породам, претерпевшим так называемые зеленокаменные изменения.

Архейские гидротермальные месторождения золота местами пространственно совпадают с сульфидными медно-никелевыми и колчеданными, но локализируются в иной геологической обстановке. Золотое оруденение распространено по всему разрезу зеленокаменных поясов, включая верхнюю терригенную его часть. Оно образовалось после завершения процессов складчатости и регионального метаморфизма. Ведущее значение в локализации оруденения имеют складки и наложенные на них зоны расщелачивания и низкотемпературных гидротермальных изменений (серцитизации, окварцевания, хлоритизации, пиритизации и др.). Нередко в одном и том же рудном поле наблюдается несколько типов локальных рудоносных структур.

Происхождение архейских золоторудных месторождений вызывает оживленные дискуссии. Широко известность получила гипотеза Р. Бойла о заимствовании золота в процессе метаморфизма из окружающих основных вулканогенных пород и его переносе метаморфогенными растворами. Однако результаты анализа рудных тел, гидротермально измененных пород и

окружающих их толщ на золото и редкоземельные элементы, а также данные по изотопному составу кислорода исключают возможность местного заимствования золота из базальтов, фельзитов и ультраосновных пород. Предполагается, что мобилизация золота происходила в нижних частях зеленокаменных поясов при возростании степени метаморфизма от зеленосланцевой до амфиболитовой его фации.

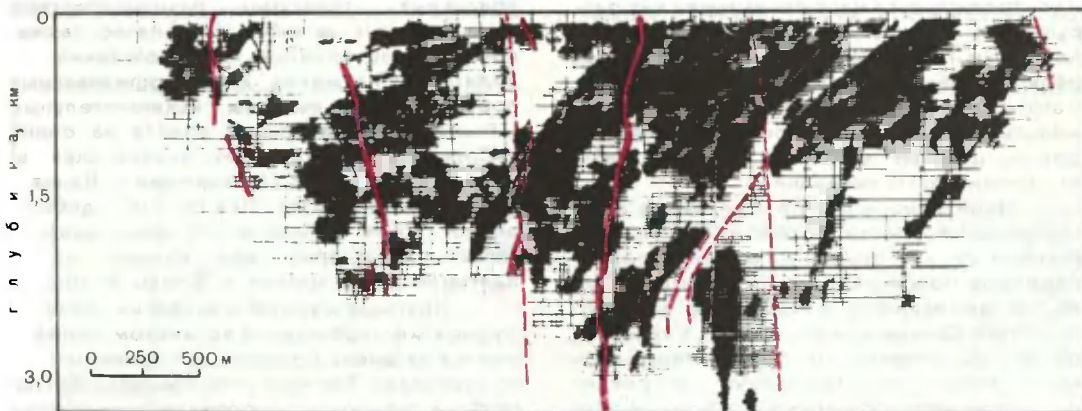
Однако и этот вариант метаморфогенной гипотезы не объясняет пространственного совмещения в одних и тех же локальных структурах разновозрастных золоторудных залежей. Непонятно также, почему золоторудные месторождения находятся в наименее метаморфизованных породах, чем вызваны исключительные масштабы концентрации золота на очень небольших площадях. Достаточно сказать, что в рудном поле Поркьюпайн в Канаде, имеющем размеры 10×10 км², добыто около 1300 т золота, и что сопоставимые запасы характерны для рудных полей Калгурли в Австралии и Колар в Индии.

Крупные масштабы архейских золоторудных месторождений во многом определяются их очень большой протяженностью по вертикали. Так, на месторождении Колар глубина отработки золоторудных жил превысила 3200 м, причем на всем вскрытом интервале жилы характеризуются почти одинаковым минеральным составом. Этим они резко отличаются от постмагматических гидротермальных месторождений более молодого возраста, для которых характерны резкие изменения с глубиной формы рудных жил, минеральных ассоциаций и содержаний золота. Эти факты указывают на подкоровое мантийное происхождение гидротермальных растворов, сформировавших архейские золоторудные месторождения.

АРХЕЙСКИЕ СУПРАКРУСТАЛЬНЫЕ ПОЯСА И ЭВОЛЮЦИЯ РУДООБРАЗОВАНИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Для объяснения механизма образования архейских зеленокаменных поясов предложено несколько моделей, каждая из которых достаточно дискуссионна. Ранние модели отождествляли стратиграфическую последовательность зеленокаменных поясов с разрезами океанической коры и допускали, что окружающие гранито-гнейсы имеют более молодой возраст. Однако среди наиболее древних осадочных образований этих поясов находятся граувакки, сходные по составу с современными, что

указывает на разрыв древнейших континентальных сиалических масс, которые присутствуют на Алданском и Канадском щитах, в Южной Африке и Австралии. Более поздние модели пытаются разрешить это противоречие. Например, в некоторых из них предполагается, что зеленокаменные пояса связаны с рифтогенезом и раздвиганием сиалической коры. Согласно этим моделям, в основании зеленокаменных поясов должны располагаться перидотиты. Но они нигде не найдены.



Продольная проекция золотого рудника Колар в Индии (по С. Нараянасвами и М. Знаутину). Черным цветом показаны рудные тела, красным — разломы, горизонтальными и вертикальными линиями — подземные горные выработки. Это и другие архейские золоторудные месторождения характеризуются очень большой протяженностью по вертикали, что принципиально отличает их от гидротермальных месторождений более молодого возраста.

В последние годы предпринято несколько попыток интерпретировать архейские структуры с позиций тектоники плит. Некоторые ученые считают, что зеленокаменные пояса соответствуют древнейшим островным дугам, а разделяющие их поля гранито-гнейсов — активным окраинам континентов. В этой модели остается неясным, соответствует ли каждый отдельно взятый пояс самостоятельной островной дуге и существовали ли в раннем докембрии континенты, соизмеримые с современными. Ведь основу новой глобальной тектоники и составляет идея о взаимодействии океанов и континентов. Таких доказательств на сегодня нет, и даже самые активные сторонники плитовой тектоники приходят к выводу, что в раннем докембрии действовал особый, еще не расшифрованный механизм тектонических движений.

В разных районах разрезы и возраст зеленокаменных толщ, характер их деформаций и метаморфизма существенно различаются, что указывает на явную дифференциацию тектонических структур уже в начале архея. Различной была и металлогеническая специализация зеленокаменных поясов. Но главные этапы в их развитии оставались одними и теми же: общее прогибание, морское накопление осадков и вулканизм закономерно переходили к складчатости и внедрению поздних грани-

тоидных интрузий, как это показано В. И. Смирновым.

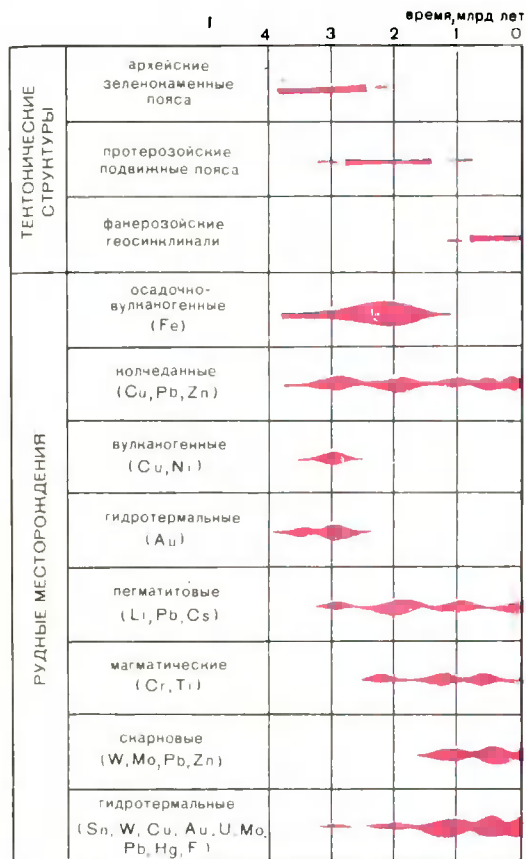
Общая направленность развития зеленокаменных поясов хорошо согласуется с идеей А. В. Пейве о последовательном преобразовании океанической земной коры в континентальную. Наиболее полно эта идея развита благодаря сравнительному изучению протерозойских, палеозойских, мезозойских и кайнозойских складчатых поясов Северной Евразии.

Соответственно, архейские зеленокаменные пояса, протерозойские подвижные пояса и фанерозойские геосинклинальные пояса можно рассматривать в качестве единого эволюционного ряда материковых структур. Анализ имеющихся данных показывает, что переход от одних членов этого ряда к другим сопровождался закономерной сменой рудных месторождений, появлением новых типов и все более сложных их комбинаций.

Открытые за последнее десятилетие месторождения раннеархейских железистых кварцитов, а также баритовые, колчеданные и сульфидные медно-никелевые месторождения указывают, что процессы рудообразования имели место уже в самом начале геологической истории Земли и что

протекали они преимущественно в морской обстановке. Следовательно, первые рудные месторождения, как и живые организмы, появились в древних водных бассейнах.

С некоторыми вариациями морское рудообразование продолжалось в протерозойских подвижных поясах и фанерозойских геосинклинальных зонах. Происходит оно и в настоящее время в океанических рифтах. Большое сходство древних и молодых колчеданных месторождений меди, свинца, цинка, золота во многом



Эволюция тектонических структур и рудных месторождений в ходе геологической истории.

обусловлено устойчивостью во времени подводного базальтоидного вулканизма, породившего эти скопления цветных и благородных металлов. Согласно преобладающей точке зрения, подводные излияния основных лав были также главным источником железа и кремнезема при образо-

вании железистых кварцитов. Однако остается неясным, почему формирование последних закончилось в середине протерозоя.

Вместе с тем при переходе от архейских к протерозойским и фанерозойским поясам, несомненно, возросла роль карбонатных и углеродсодержащих формаций, наземного вулканизма, гранитоидного магматизма и следующего за магматизмом оруденения. Так, в фанерозойских складчатых поясах с внутрикоровыми гранитоидными массивами ассоциируются обширные серии скарновых и гидротермальных месторождений золота, олова, вольфрама, молибдена, меди, свинца, цинка и других металлов, а с субвулканическими интрузиями — гидротермальные золото-серебряные, уран-молибденовые, флюоритовые и некоторые другие руды.

Необходимо подчеркнуть, что это был не единственный путь эволюционного развития рудоносных структур земной коры. Длительный и сложный процесс консолидации земной коры закончился в конце архея, когда на размытой поверхности зеленочаменных поясов и гранитоидных платформ начали отлагаться древнейшие платформенные чехлы. С ними связаны древние, россыпные месторождения золота и урана, заключенные в металлоносных конгломератах. Таким образом, первые рудные месторождения на континентах возникли гораздо позднее, чем в водных бассейнах. В дальнейшем стабильные блоки земной коры подвергались интенсивным тектоническим воздействиям, в них внедрялись новые порции магматических расплавов, сопровождаемые интенсивным и разнообразным оруденением. Но рассмотрение этих рудообразующих процессов выходит за рамки настоящей статьи.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ДОКЕМБРИЙ И ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ. М., Наука, 1978.

МИНЕРАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДОКЕМБРИЯ. М., Наука, 1982.

РУДОНОСНЫЕ СТРУКТУРЫ ДОКЕМБРИЯ. М., Наука, 1982.

Смирнов В. И. ЭНДОГЕННОЕ РУДООБРАЗОВАНИЕ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ. — Геология рудных месторождений, 1982, № 4.

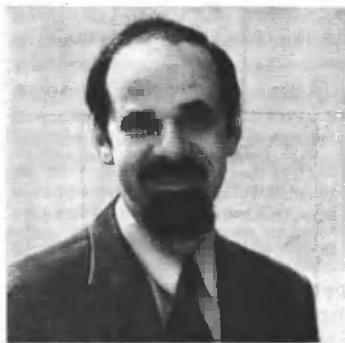
ТЕКТНИКА СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ. М., Наука, 1980.

Гормоны гипофиза — регуляторы памяти*

А. А. Каменский, С. А. Титов



Андрей Александрович Каменский, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Комплексной лаборатории биологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Работает в области нейрофармакологии малых пептидов.



Сергей Алексеевич Титов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Занимается исследованием действия нейропептидов на поведение и физиологические реакции животных.

Познание одного из самых загадочных явлений психической деятельности — памяти — только-только начинается, и поэтому новые факты в этой области представляют неоспоримую ценность. К числу таких сведений, проливающих свет на возможные механизмы этого сложного процесса, относятся данные о регуляторной деятельности пептидов — небольших полимерных образований, представляющих собой цепочку аминокислот¹.

В последние годы стало известно, что в процессах, связанных с памятью и обучением, активное участие принимают вещества, о функциях которых, казалось бы, все давно известно. Речь идет о хорошо изученных гормонах гипофиза — одной из самых важных желез внутренней секреции.

Гипофиз — это небольшая железа (весом менее одного грамма), расположенная в самом центре мозга. Такое ее положение издавна привлекало внимание исследователей, предполагавших важную роль этого комочка в работе организма. Эта догадка, первоначально построенная на чистой интуиции, оказалась верной, хотя прошло много веков, прежде чем удалось

Статья продолжает серию публикаций, начатую подборкой «Химия поведения» (Природа, № 4, 1983 г.).

¹ Ашмарин И. П. — Ж. эволюц. биохим. и физиол., 1977, т. 13, № 5, с. 570.

выяснить истинное назначение гипофиза. Тщательное изучение его строения и функций показало, что гипофиз выделяет несколько гормонов, управляющих, по существу, всей деятельностью организма. В числе изолированных и изученных гормонов гипофиза немалое место занимают три вещества пептидной природы, а именно: кортикотропин (или адренокортикотропный гормон — АКТГ), вазопрессин и окситоцин, о которых и пойдет речь в нашей статье.

МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ПАМЯТИ

Прежде чем говорить о полученных в последние годы результатах, свидетельствующих об участии гормонов в регуляции памяти, остановимся сначала на методах, с помощью которых можно в эксперименте на животных изучать этот сложный процесс.

В основном — это хорошо известный в физиологии метод выработки условных рефлексов. Для исследования памяти и обучаемости у экспериментальных животных, как правило, используют так называемое обучение с положительным или отрицательным подкреплением. Суть метода состоит в выработке определенного навыка: в случае с положительным подкреплением — получить желаемую пищу, в случае с отрицательным подкреплением — избежать неприятного ощущения (например, слабого удара током).

Из методов с положительным подкреплением чаще всего используется выработка условной реакции на определенное место в лабиринте с пищевым вознаграждением. В одну из камер лабиринта помещают пищу, а в другую, называемую стартовой, — голодное животное. Чтобы получить пищу, крыса должна преодолеть путь, на котором встречаются отвращения. После того как животное несколько раз побывало в лабиринте, оно запоминает правильный путь, но время, необходимое для полного обучения, может быть, в зависимости от функционального состояния центральной нервной системы, различным. Обычно на каждую попытку отводят определенное время; если в течение этого промежутка животное не смогло найти пищу, реакция считается невыполненной. Оценивая количество выполненных реакций, снижение числа отклонений от правильного пути и сокращение времени, требуемого для нахождения пищи, экспериментатор может охарактеризовать динамику обучения.

Формирование условных рефлексов с отрицательным подкреплением обычно называют выработкой реакции избегания, так как при этом животное обучают избегать болевого воздействия.

Избегание может быть активным и пассивным. При активном избегании животное должно после условного сигнала совершить какое-либо активное действие — прыгнуть на полку, перейти в соседний отсек камеры и т. п. Во втором случае эксперимент проводят следующим образом. Крысу помещают в ярко освещенную камеру, где находится затемненное укрытие. По своей биологической природе крыса стремится уйти от яркого света, но как только она попадает в укрытие, сразу же получает удар электрическим током. После этого крысу удаляют из камеры на несколько дней, а когда снова возвращают туда, она уже избегает заходить в темный отсек, опасаясь удара током. Чем лучше животное запомнило наказание в первом опыте, тем дольше оно будет оставаться в неприятном для себя светлом отсеке.

Чтобы оценить прочность выработанного навыка, используют так называемое угасание условной реакции. Условную реакцию перестают подкреплять безусловным раздражителем, т. е. в лабиринт не помещают пищевого подкрепления, а в камере для активного избегания не включают электрического напряжения. Через некоторое время животное перестает выполнять условную реакцию, но чем прочнее выработанный навык, тем дольше он сохраняется.

Эти два подхода с использованием выработанного условного рефлекса широко применяли и при изучении влияния АКТГ, вазопрессина и окситоцина на память и обучаемость экспериментальных животных.

АДРЕНОКОРТИКОТРОПНЫЙ ГОРМОН

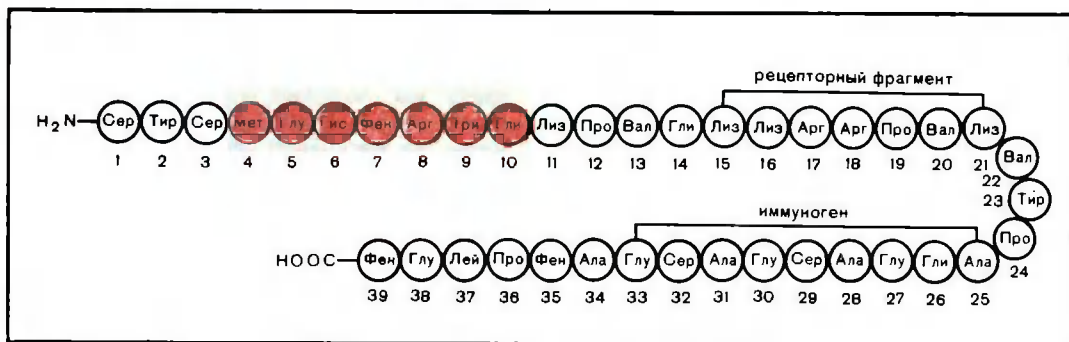
АКТГ — один из множества гормонов, вырабатываемых в передней доле гипофиза, называемой аденогипофизом. По своей химической структуре это пептид, состоящий из 39 аминокислотных остатков.

Как и у других гормонов, отдельные фрагменты АКТГ выполняют разные функции: участок, занимающий в молекуле АКТГ место с 4-го по 10-й аминокислотные остатки (АКТГ₄₋₁₀), стимулирует работу другой эндокринной железы — надпочечников; участок АКТГ₁₅₋₂₁, обладающий гормональным эффектом, отвеча-

ет за специфическое связывание гормона с рецепторами тканей; С-концевой фрагмент АКГГ₂₅₋₃₃ обуславливает иммунологическую активность гормона, характерную для каждого вида животных.

Какова же биологическая роль АКГГ в организме? Еще в конце 30-х годов нашего столетия канадский патофизиолог Г. Селье установил, что разнообразные неблагоприятные факторы внешней среды вызывают неспецифическую защитную реакцию организма, названную им стрессом. Оказалось, что во время стресса резко

Первые данные о действии АКГГ на поведение крыс были получены группой голландских исследователей, чьи работы, по существу, и положили начало развитию этого направления. Они обнаружили, что удаление гипофиза резко снижало у животных способность к выработке условного рефлекса². Можно было думать, что это обусловлено нехваткой целого комплекса гипофизарных гормонов. Действительно введение АКГГ животным с удаленным гипофизом полностью восстанавливало их способность к обучению. Такой же



Первичная структура АКГГ овцы и предполагаемая функционально-структурная организация его молекулы. Отдельные участки молекулы АКГГ выполняют различные функции: участок, называемый актоном (выделен цветом), обеспечивает гормональный эффект в клетках коры надпочечников; рецепторный фрагмент отвечает за специфическое связывание пептида с рецепторами тканей; участок, называемый иммуногеном, обуславливает иммунологическую активность гормона.

увеличивается выделение АКГГ из гипофиза, что влечет за собой целую цепь реакций в организме, начиная от усиленного синтеза гормонов коры надпочечников и заканчивая образованием в печени запасов глюкозы в виде гликогена. Другими словами, благодаря АКГГ организм во время стресса работает интенсивнее, чтобы справиться с неблагоприятными воздействиями.

Эффективность действия АКГГ чрезвычайно высока: всего 1 мкг гормона в конечном счете приводит к образованию 5600 мкг гликогена в печени. Таким образом, коэффициент усиления биологического эффекта в этом случае достигает 5600! Интересно, что выброс АКГГ сопровождается также изменениями поведения, которые раньше считались проявлениями гормонального эффекта.

эффект наблюдался и при инъекции АКГГ крысам с неповрежденным гипофизом.

Но, пожалуй, самым неожиданным был тот факт, что влияние АКГГ на обучение не связано с его основным действием на кору надпочечников. Это было доказано следующими экспериментами: во-первых, у крыс с удаленными надпочечниками АКГГ нормализовал процесс обучения; во-вторых, было изучено действие различных фрагментов АКГГ на обучение животных и установлено, что пептид, состоящий всего из четырех аминокислотных остатков — АКГГ₄₋₇ (Мет—Глу—Гис—Фен), обладает таким же эффектом, как и целая молекула АКГГ.

Удаление остатка метионина (Мет) в этом фрагменте значительно ослабляло стимуляцию обучения и тормозило угасание (или забывание). Удлинение пептидной цепочки до 7 аминокислотных остатков — АКГГ₄₋₁₀ (Мет—Глу—Гис—Фен—Арг—Три—Гли) незначительно усиливало эффект, но зато оказывало такое же действие, как и при введении меньших доз по сравнению с АКГГ₄₋₇. Однако надо отметить, что эти малые пептиды лишены гормональной активности целой молеку-

² Applezweig M. N., Baudry F. D.— Psychol. Rep., 1955, v. 1, p. 417.

лы АКГГ, поскольку они не могут связываться с рецепторами клеток коры надпочечников.

Так как фрагменты АКГГ действуют на поведение в течение всего лишь нескольких десятков минут, возникла необходимость продлить и усилить их действие. Казалось бы, что такой путь найден. Дело в том, что нужным эффектом могут обладать не свойственные организму животных неприродные правоповорачивающие D-изомеры аминокислот (напомним, что в организме присутствуют лишь левовращающие L-аминокислоты). Поскольку все ферменты, расщепляющие пептиды (так называемые пептидазы), специфичны к L-аминокислотам, то молекулы с D-изомерами не подвергаются их разрушительному действию. Хотя пептиды с D-изомерами и живут в организме достаточно долго, тем не менее они могут оказывать и отрицательное действие. В самом деле, в ряде экспериментов с фрагментами АКГГ, включающими D-изомеры, было показано, что такие препараты ухудшают память у экспериментальных животных³.

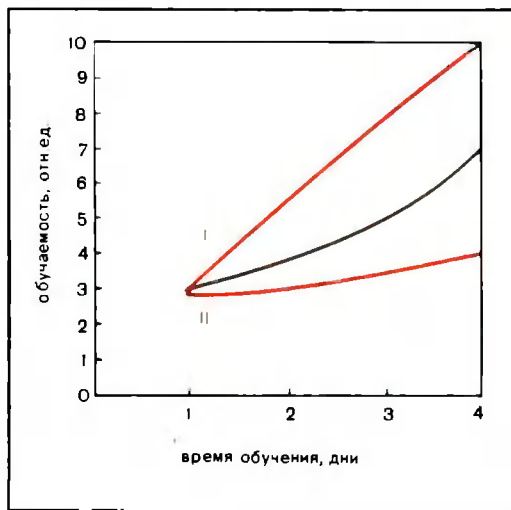
Возможен и другой путь защиты АКГГ от действия пептидаз. Известно, что остатки аминокислоты пролина (Про) также плохо отщепляются пептидазами. Поэтому фрагменты АКГГ, включающие эту аминокислоту, могут оказывать желаемый эффект.

В результате длительных поисков В. Н. Незавибадько и М. Н. Пономарев-Степная (лаборатория синтеза биополимеров Института молекулярной генетики АН СССР) синтезировали пептид, который в малых дозах и, самое главное, в течение нескольких часов стимулировал выработку пищевого условного рефлекса, не вызывая при этом каких-либо побочных явлений.

До сих пор мы говорили о действии различных фрагментов АКГГ, искусственно вводимых в организм. А существуют ли в организме свои собственные фрагменты АКГГ, обеспечивающие нормальный уровень памяти? По-видимому, существуют. В 1977 г. было установлено, что в клетках гипофиза синтезируется белок пропiomеланокортин, который служит предшественником целого семейства гипофизарных гормонов, образующихся в результате расщепления «материнской молекулы»⁴. Зна-

чит, организм не вырабатывает коротеньких пептидов, а сразу получает из одного большого предшественника целый набор регуляторов, количество которыхратно числу синтезируемых молекул пропiomеланокортина.

Еще одним подтверждением наличия в организме эндогенных пептидов послужили наши эксперименты с фрагментом АКГГ₄₋₁₀, к которому был присоединен бычий сывороточный альбумин⁵. У животных, иммунизированных таким препаратом, способности к обучению, по сравнению



Влияние АКГГ на степень обучаемости крыс: чёрная кривая — контрольные животные [ежедневное введение дистиллированной воды]; цветные кривые — экспериментальные животные [I — при ежедневном введении АКГГ₄₋₁₀—Про—Гли—Про; II — при ежедневном введении АКГГ с D-Фенилаланином за 5 мин до обучения; доза введения — 0,015 мкг/кг].

с контрольными, значительно снижались. Значит, образованные в результате иммунизации антитела связывали эндогенный пептид, что приводило к «оглуплению» животных.

Каков же вероятный физиологический механизм действия фрагментов АКГГ на память и обучение? По этому поводу существуют две гипотезы: согласно одной, фрагменты АКГГ обостряют внимание, улучшают восприятие экспериментальной обстановки, усиливают мотивации, лежащие

³ Ашмарин И. П., Антонова Л. В., Титов С. А., Максимова Л. А., Каменский А. А. — Ж. высш. нервн. деят-ти, 1980, т. XXX, вып. 6, с. 1196.

⁴ См.: Обнаружен предшественник эндорфинов. — Природа, 1978, № 2, с. 149.

⁵ Антонова Л. В., Бурбаева Г. Ш., Каменский А. А., Ашмарин И. П. — Доклады АН СССР, 1981, т. 258, № 6, с. 1477.

в основе обучения; другая же гипотеза постулирует, что фрагменты АКГГ действуют уже после восприятия, влияя на переход запечатленного в состояние долговременной памяти.

Наши собственные результаты говорят, скорее, в пользу второй гипотезы, так как введение крысам АКГГ₄₋₁₀ после сеанса обучения достоверно ускоряет выработку условного рефлекса. Однако следует отметить, что между этими двумя гипотезами нет явного противоречия, и вполне возможно, что фрагменты АКГГ действуют на обучение несколькими способами. При рассмотрении клеточных механизмов действия АКГГ такой вариант выглядит наиболее вероятным. Действительно, фрагменты АКГГ взаимодействуют с клетками многих структур мозга. Эти пептиды изменяют обмен целого ряда нейромедиаторов, увеличивают интенсивность синтеза белков и их фосфорилирование. Под влиянием фрагментов АКГГ улучшается нервно-мышечная передача, увеличивается сила сокращения мышечных волокон, замедляется наступление утомления. Даже этот далеко не полный перечень говорит о чрезвычайно обширных возможностях фрагментов АКГГ в организме. Однако, как это не удивительно на первый взгляд, в основе большинства эффектов лежит, возможно, единый биохимический механизм — действие фрагментов АКГГ на аденилатциклазную систему.

В последние годы показано, что АКГГ-подобные пептиды активируют аденилатциклазу — фермент, участвующий в синтезе циклического аденозинмонофосфата, который выполняет роль внутриклеточного медиатора, регулирующего работу любой клетки нашего тела. Значит ли это, что фрагменты АКГГ действуют на все клетки организма? Видимо, нет или, вернее, действуют в разной степени. Например, дозы АКГГ₄₋₁₀ влияющие на память и обучение, очень малы — всего несколько миллионных долей грамма на организм. И вводятся эти микроскопические количества в кровяное русло, при этом на пути в нервную систему они вдобавок разрушаются протеолитическими ферментами. Поэтому до клеток мозга доходит только одна из десяти тысяч молекул пептида. Значит, можно предположить, что в мозге существует относительно небольшая группа клеток, чувствительных к фрагментам АКГГ.

И действительно, получены данные об избирательной реакции нейронов ряда

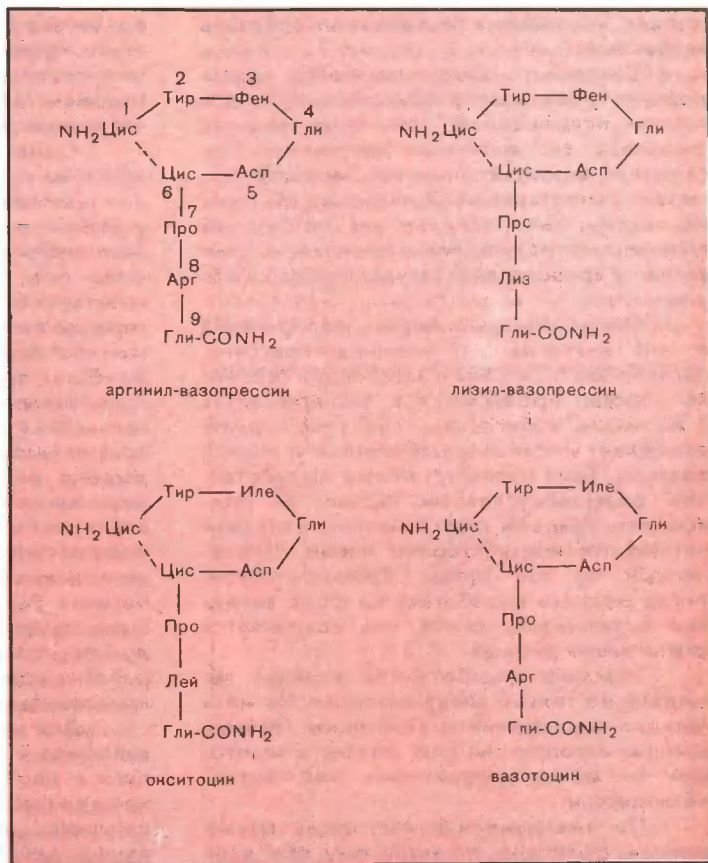
структур мозга на введение фрагментов АКГГ. Прежде всего, речь идет о клетках заднего таламуса и гиппокампа. Кроме того, в опытах с мечеными фрагментами АКГГ было показано, что значительная часть дошедшего до мозга пептида локализована именно в структурах промежуточного мозга — таламусе, гипоталамусе и в лимбической системе, включающей гиппокамп. Видимо, это не случайно. Таламус — один из главных центров обработки информации, поступающей от органов чувств в центральную нервную систему, а гиппокамп — как раз та структура мозга, которую большинство нейрофизиологов связывает с рядом процессов, лежащих в основе обучения. Возможны и другие внутриклеточные механизмы действия фрагментов АКГГ, например: усиление транспорта ионов через клеточные мембраны, облегчение синаптической передачи, прямая стимуляция синтеза белков.

ВАЗОПРЕССИН И ОКСИТОЦИН

Два других гормона, участвующих в регуляции памяти, — вазопрессин и окситоцин — также были давно известны и хорошо изучены. Считалось, что эти вещества пептидной природы синтезируются в задней доле гипофиза, называемой нейрогипофизом. Эта, меньшая часть железы тесно связана с нервными клетками расположенных прямо над ней гипоталамических ядер головного мозга. По гормональному содержанию эта доля значительно уступает аденогипофизу, и функции ее более ограничены. В 1894 г. Г. Оливер и Е. А. Шефер обнаружили, что экстракты нейрогипофиза вызывают сокращение стенок кровеносных сосудов, т. е. оказывают вазопрессорный эффект. Спустя несколько десятков лет из этой доли гипофиза были выделены два гормона пептидной природы, один из которых и был назван вазопрессином, а другой — окситоцином.

В последующие годы удалось выяснить точное место их образования, химическое строение, физиологические функции. Оказалось, что синтезируются они не в гипофизе, а «этажом выше», в расположенных над гипофизом ядрах гипоталамуса, откуда по нервным волокнам специального гипоталамо-гипофизарного пути поступают в заднюю долю гипофиза, а уже оттуда по мере надобности распределяются по организму. В 1958 г. был искусственно синтезирован, а немного спустя в организме низших позвоночных обнаружен гормон, промежуточный между окси-

Структурные формулы гормонов нейрогипофиза. Каждый гормон состоит из 9 аминокислот, которые образуют шестичленный цикл и трехзвенную боковую цепь. По-видимому, специфический гормональный эффект обусловлен различием аминокислотных остатков, занимающих положения 3 и 8 в структуре гормонов.



тоцином и вазопрессинном, названный вазотоцином.

Несмотря на схожесть строения, функции вазопрессина и окситоцина в организме совершенно различны. Вазопрессин в малых дозах задерживает выделение воды из организма (поэтому его часто называют антидиуретическим гормоном), а в больших — вызывает сокращение кровеносных сосудов. Окситоцин усиливает выделение молока молочными железами, а также стимулирует во время родов сокращение мускулатуры матки и угнетает эффекты вазопрессина.

Казалось бы, все функции гормонов задней доли гипофиза известны. А между тем стали появляться сведения, что вазопрессин может выступать в совершенно неожиданной для него роли — стимулятора памяти. Пионером этих работ по праву можно считать голландского исследователя «Д. де Вида». Именно он со своими сотруд-

никами убедительно показал, что вазопрессин активно участвует в процессах, связанных с памятью. Первоначально это были наблюдения за животными с удаленным гипофизом, а затем для этих исследований была найдена очень удобная модель.

Известно, что недостаточное количество вазопрессина в организме приводит к развитию так называемого несахарного диабета. При этой болезни в результате усиленного выделения воды больные страдают от постоянного обезвоживания. Для изучения несахарного диабета была выведена специальная линия лабораторных крыс, у которых в результате мутации не синтезируется вазопрессин. У таких крыс условные реакции вырабатываются медленнее и угасают значительно быстрее, чем у крыс с нормальным уровнем синтеза вазопрессина. Когда мутантным крысам вводили вазопрессин, они обучались так же хорошо, как и обычные крысы. С другой стороны, если нормальным крысам ввести в мозг сыворотку, содержащую антитела к вазопрессину, и тем самым связать этот

⁶ De Wied D., Gispen W. H. — In: Peptides in Neurobiology, Bethesda, 1977, p. 397.

гормон, у животных снижается способность к обучению⁷.

Широкое экспериментальное исследование роли вазопрессина в механизме памяти показало, что его активность не связана с его основным эффектом. Так, сходное с вазопрессином соединение, у которого отсутствует амид глицина, действует на память почти так же, как природный гормон, но полностью лишено его действия на кровеносные сосуды и водный обмен.

Положительный эффект вазопрессина и его аналогов — лизил-вазопрессина, аргинил-вазопрессина и вазотоцина особенно хорошо проявляется в экспериментах с активным избеганием, где этот гормон замедляет угасание выработанной условной реакции. Если после устойчиво выработанной реакции условный сигнал не подкреплять ударами электрического тока, животные постепенно теряют навык, направленный на то, чтобы избежать боли. Когда реакция выработана на фоне введения лизил-вазопрессина, она сохраняется значительно дольше.

Угасание выработанной реакции замедлял не только лизил-вазопрессин, но и аргинил-вазопрессин и вазотоцин. Причем аргинил-вазопрессин был более, а вазотоцин — менее эффективен, чем лизил-вазопрессин.

По имеющимся в настоящее время данным, окситоцин, по-видимому, обладает противоположным вазопрессину действием и угнетает реакцию избегания. Значит, противодействие между двумя гормонами нейрогипофиза, известное для их основного эффекта, сохраняется и в отношении их влияния на память.

Вазопрессин активен уже в крайне малых дозах — от долей микрограмма до нескольких микрограммов, и действие его длится около часа. При этом не имеет значения, вводится гормон до или после обучения. Так, голландские исследователи вводили пептид за час до начала обучения или сразу же после его окончания — и в любом случае запоминание улучшалось. Но при инъекции гормона в более поздние сроки никакого эффекта не наблюдалось. Тот факт, что вазопрессин действует и сразу после сеанса обучения, имеет большое значение. Это доказывает, что пептид влияет именно на механизм памяти, а не на восприятие окружающей обстановки во

время выработки условной реакции. Отсутствие эффекта при более позднем введении говорит об участии вазопрессина в усвоении запечатленного, перехода его в состояние долговременной памяти.

Однако положительный эффект вазопрессина при выработке пассивного избегания прослеживается не так четко, как при угасании активного. Да и с самим активным избеганием вопрос еще не совсем ясен: если считать, что вазопрессин способствует более прочному запоминанию, то гораздо сложнее высчитать, влияет ли гормон на быстроту усвоения нового навыка. Еще труднее решить вопрос о действии вазопрессина на рефлексы с положительным (пищевым) подкреплением. Во время такого эксперимента животное находится в более спокойных условиях, у него меньше выражен страх, и есть основания полагать, что и процесс запоминания в этом случае принципиально отличается от такового при выработке реакции избегания. Результаты проделанных к настоящему времени экспериментов позволяют думать, что вазопрессин не влияет на выработку условной реакции с пищевым подкреплением.

Для изучения роли гормонов нейрогипофиза в формировании реакций активного и пассивного избегания в последнее время открылись новые возможности. Было показано, что вазопрессин значительно лучше действует, если память нарушена в результате какого-либо воздействия, например введения веществ, блокирующих синтез белка и важнейших медиаторов центральной нервной системы, а также при электрошоке⁸. В этих случаях реакция пассивного избегания не вырабатывается, но лизил-вазопрессин, независимо от того, когда его вводят — за час до выработки или за час до проверки запоминания, — полностью восстанавливает память.

Нам удалось показать влияние вазопрессина и вазотоцина на скорость формирования реакции активного избегания в присутствии ципрогептадина — вещества, нарушающего выработку этой реакции (оно блокирует действие одного из основных медиаторов центральной нервной системы — серотонина). Введение ципрогептадина перед каждым сеансом обучения обычно тормозит выработку этого рефлекса, а последующее введение гормо-

⁷ Van Wimersma Greidanus T. B., Dogterom J., De Wied D. — *Life Sci.*, 1975, v. 16, № 4, p. 637.

⁸ Asin K. E. — *Pharmacol. Biochem. Behav.*, 1980, v. 12, p. 343; Pfeifer W. D., Bookin H. B. — *Pharmacol. Biochem. Behav.*, 1978, v. 9, p. 261.

нов, которые в нормальных условиях не влияют на скорость обучения, резко увеличивает ее. При этом лизил-вазопрессин полностью восстанавливал нормальную скорость обучения, а вазотоцин оказывал более слабое действие⁹.

Что же сегодня известно о действии гормонов нейрогипофиза на память?

На основании экспериментального изучения памяти и обучаемости на животных твердо установлено, что оба вазопрессина и, в меньшей степени, их природные и синтетические аналоги тормозят угасание условной реакции активного избегания. На выработку пассивного избегания и на скорость формирования активной реакции гормоны действуют слабо или вообще не действуют. Но их влияние резко возрастает, если запоминание предварительно нарушить каким-либо экспериментальным вмешательством.

Под влиянием вазопрессина запоминание делается более прочным, а запечатленное вспоминается легче.

Окситоцин обладает противоположным вазопрессину действием, т. е. ухудшает выработку реакции избегания.

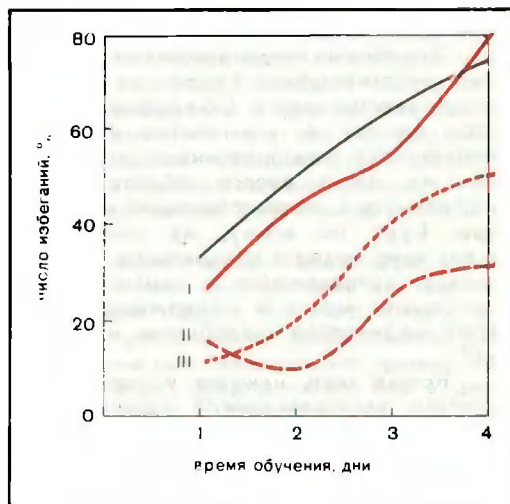
На выработку условной реакции с пищевым подкреплением гормоны нейрогипофиза действуют слабо или вообще не действуют.

Осмысливание установленных фактов почти всегда идет в двух направлениях — теоретическом и практическом. Теоретики пытаются связать новое явление с уже известными, выяснить суть, механизм вновь открытого феномена; практики стремятся извлечь из нового факта практическую пользу. Проблема влияния гормонов задней доли гипофиза на память не составляет исключения.

Вопрос о влиянии химических соединений на механизм памяти сложен, прежде всего, потому, что о самом этом механизме мы знаем крайне мало. В связи с этим основная масса исследований до сих пор была направлена на изучение взаимодействия гормонов нейрогипофиза с довольно хорошо известными сторонами деятельности центральной нервной системы: обменом основных медиаторов (т. е. тех веществ, которые непосредственно осуществляют передачу возбуждения нерва на рабочий орган), функциями различных отделов мозга и т. п.

Большое место в этих исследованиях

отводится методу так называемой внутримозговой инъекции. В определенный отдел мозга вживляют тонкую трубочку (канюлю), не мешающую нормальному существованию животного. Эксперимент начинается, когда животное полностью освоится с присутствием канюли в голове, затем через канюлю вводят небольшие количества исследуемого вещества. При этом наблюдают поведение животного, его вегетативные и электрофизиологические реакции и другие показатели, интересующие исследователя. Само собой разумеется, что параллельно



Влияние лизил-вазопрессина на скорость выработки реакции активного избегания, нарушенного ципрогептадином: черная кривая — контрольные животные; цветные кривые — экспериментальные животные (I — при последовательном введении ципрогептадина и лизил-вазопрессина; II — при введении ципрогептадина; III — при последовательном введении ципрогептадина и вазотоцина).

ставятся контрольные эксперименты, где через такую же канюлю вводят физиологический раствор или другую жидкость (например, растворитель для исследуемого вещества).

В результате таких экспериментов с вазопрессином и родственными ему соединениями выяснилось, что действие их на память в значительной степени зависит от места введения. Инъекция вещества в желудочки мозга — полости, заполненные спинномозговой жидкостью, быстро разносящей введенный препарат по всему мозгу, улучшает запоминание. Однако более сильный эффект получается, если препарат вводить прямо в структуры

⁹ Титов С. А., Шамакина И. Ю., Ашмарин И. П. — Бюлл. эксперим. биол. и мед., 1983, т. 45, № 2, с. 31.

лимбической системы мозга, ведающей эмоциями, которая, по мнению некоторых исследователей, тесно связана с памятью. Инъекция крайне малых количеств аргинил-вазопрессина в ядра этой системы значительно улучшает выработку реакции пассивного избегания, в то время как введение гормона в другие ядра не дает такого эффекта¹⁰. Кроме того, в головном мозгу обнаружены участки, действие на которые окситоцин улучшает формирование реакции, хотя инъекция этого соединения в другие отделы мозга, напротив, ухудшает обучение так же, как это обычно происходит при системном введении окситоцина.

Эти данные свидетельствуют, что гормоны нейрогипофиза влияют на определенные участки мозга. По-видимому, процессы памяти у нормальных животных регулируются вазопрессином, доставляемым из места своего образования в гипоталамусе в соответствующие мозговые ядра. Судя по всему, из гипоталамических ядер выходят специальные нервные волокна, направленные в самые различные отделы мозга и содержащие в качестве медиаторов вазопрессин и окситоцин¹¹.

Кроме того, наличие у нормальных животных вазопрессиновой регуляции памяти подтверждается еще и тем, что введение сыворотки с антителами к аргинил-вазопрессину резко ухудшает выработку реакции пассивного избегания¹².

Но, по всей вероятности, действие вазопрессина не ограничивается локальным приложением к определенным участкам лимбической системы. Можно полагать, что этот гормон так или иначе участвует в работе всех трех основных нейробиологических систем — норадреналинергической, дофаминергической и серотонинергической (названия этих систем определяются медиаторами, т. е. норадреналином, дофамином, серотонином).

Оказалось, что вазопрессин и окситоцин, правда в небольшой степени, влияют на содержание всех трех основных медиаторов в некоторых отделах мозга, а в специальных экспериментах было показано,

что оба гормона активируют дофаминергическую систему¹³. Кроме того, инъекция вазопрессина в ядра шва среднего мозга, где находятся нейроны, содержащие серотонин, почти так же улучшает запоминание, как его инъекция в лимбические ядра. В то же время разрушение норадреналинергических путей в мозге препятствует улучшению памяти, осуществляемому через серотонинергическую систему.

Накопленные к настоящему времени экспериментальные данные дают основания утверждать, что в сложную регуляцию поведения, осуществляемую триадой «классических» систем, вмешивается новая, пока мало исследованная система (назовем ее пептидергическая). Поэтому давно известные гормоны задней доли гипофиза можно с полным правом считать гормонами, действующими внутри центральной нервной системы и регулирующими ее работу.

И еще один интересный факт. Появились данные, что вазопрессин из задней доли гипофиза может проникать в переднюю, в аденогипофиз, и регулировать там выделение аденокортикотропного гормона, тоже активно участвующего в процессах памяти. Таким образом, обе пептидергические системы, регулирующие механизмы памяти, оказываются взаимодействующими.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

И, наконец, попытаемся ответить на вопрос, который, наверное, уже возник у читателя: каковы перспективы практического использования этих пептидов?

Начнем с АКТГ. Еще в 1970 г. Е. Эндрёци описал возникновение реакции настороженности и облегчение симптомов депрессии у своих пациентов при введении им АКТГ₁₋₁₀¹⁴. Чуть позднее появились работы других исследователей, в которых авторы единодушно заключили, что малые дозы АКТГ₄₋₁₀ усиливают внимание, улучшают оценку и использование информации, скорость реакции и, в конечном итоге, обучение.

Интересные данные в опытах на себе получили ленинградские врачи¹⁵. Через

¹⁰ Kovács G. L., Bohus B., Versteeg D. H., De Kloet E. R., De Wied D. — Brain Res., 1979, v. 175, p. 303.

¹¹ Buijs R. M., Swaab D. F., Dogterom J., Leenwen F. W. van. — Cell and Tissues Res., 1978, v. 186, p. 423.

¹² Kovács G. L., Buijs R. M., Bohus B., Van Wimersma Greidanus T. B. — Physiol. and Behav., 1982, v. 28, p. 45.

¹³ Телегди Г., Ковач Г. Л. — Эксперим. эндокринология, 1982, № 1, с. 37.

¹⁴ Endrőczy E., Lissak K., Fekete T., De Wied D. — Progr. Brain Res., 1970, v. 32, p. 254.

¹⁵ Медведев В. И., Акимов Г. А., Бахарев В. Д. — Физиол. чел., 1981, № 4, с. 593.

45 мин после закапывания в нос 0,5 мг АКГГ₄₋₇ (причем испытуемый не знал, что ему вводили: раствор пептида или физиологический раствор) проводилось психофизиологическое обследование, включающее несколько тестов.

В первом случае необходимо было за 30 секунд запомнить случайные слоги, приведенные в таблице, и попытаться воспроизвести их сразу и через час после просмотра таблицы (оценка зрительной памяти). Второй тест заключался в воспроизведении ряда случайных цифр, запоминаемых на слух. В третьем — нужно было суммировать однозначные цифры и удерживать суммы в памяти в течение некоторого времени (оценка оперативной памяти). Четвертый тест — на пространственное восприятие с помощью плакатов-таблиц. Необходимо было быстро запомнить ряд геометрических фигур, находящихся в 16 ячейках, и правильно нарисовать их в чистой таблице. Последний тест — предъявление ключевых слов с подбором к ним синонимов — позволял исследовать извлечение информации из долговременной памяти, а также ассоциативную память.

Оказалось, что исследуемый пептид улучшал кратковременную и ассоциативную память, пространственное восприятие, повышал устойчивость внимания к внешним помехам, увеличивал объем оперативной памяти. Интересно, что максимальный эффект наблюдался у лиц с исходно плохой памятью.

Как полагают наши коллеги (и мы присоединяемся к их мнению), у здорового человека нервная система работает на оптимальном уровне, а в этом случае пептид и не может проявить своего действия. Но вот в случае ряда расстройств работы мозга, в частности ослабления памяти, пептиды, и в том числе фрагменты АКГГ, могут оказаться чрезвычайно полезными.

Возможности практического применения фрагментов АКГГ не ограничиваются лечением болезней центральной нервной системы. Тысячи людей страдают опасной болезнью — миастенией, во время которой мышцы человека теряют способность сокращаться под действием импульсов, приходящих по нервным волокнам. В результате этого могут возникать параличи и даже смерть. Уже однократное введение небольшого количества АКГГ₄₋₁₀ страдающим этим недугом эффективно улучшало работу мышц¹⁶.

В пользу практического применения

фрагментов АКГГ свидетельствует и сам факт их присутствия в нашем организме, и наличие системы их быстрой деградации, т. е. эти пептиды теоретически достаточно безопасны. Так, одноразовое введение людям 60 мг АКГГ₄₋₁₀ не вызвало изменений в электроэнцефалограмме, деятельности сердца, анализах крови и мочи, хотя эта доза — приблизительно 1 мг/кг — весьма большая. С другой стороны, по нашим данным, введение крысам 0,15 мг/кг АКГГ₄₋₁₀ приводит к некоторому усилению двигательной активности, учащению сердечных сокращений и увеличенному потреблению кислорода¹⁷.

И хотя такие изменения нельзя считать необычными или, тем более, опасными, все-таки они напоминают о необходимости строгого контроля и большой осторожности при внедрении в практику пептидных регуляторов. Вместе с тем нет сомнений, что в ближайшем будущем будут внедрены в практику лекарственные препараты, созданные на основе фрагментов АКГГ и их аналогов.

Не менее активно ведутся работы по использованию вазопрессина для лечения расстройств памяти. Конечно, говорить о широком клиническом использовании пока еще весьма преждевременно, однако первые попытки, предпринятые как в зарубежных, так и в отечественных клиниках, дают основания для оптимизма. В некоторых случаях, когда в результате травмы или мозгового заболевания развивалась потеря памяти, прием небольших доз вазопрессина приводил к заметным положительным сдвигам. Отмечено некоторое улучшение состояния у больных шизофренией в той же форме, когда нарушается реакция на внешние раздражители и наступает безразличие и неконтактность.

Таким образом, в настоящее время можно говорить о прогрессе, достигнутом в изучении влияния гормонов гипофиза на процессы памяти. У нас есть все основания надеяться, что дальнейшие исследования нейрогормонов гипофиза, с одной стороны, внесут свой вклад в изучение работы головного мозга и раскрытие все еще загадочных механизмов его действия, а с другой — позволят разработать препараты, эффективные как при расстройствах памяти, так и, возможно, при других психических нарушениях.

¹⁶ Strand F. L., Cayer A. — Progr. Brain Res., 1975, v. 42, p. 192.

¹⁷ Каменский А. А., Антонова Л. В., Левецкая Н. Г. — Физиол. ж. СССР, 1980, т. XVI, № 10, с. 1549.

Этнические общности: их историко-типологическая и этнолингвистическая классификация

Ю. В. Бромлей, П. И. Пучков



Юлиан Владимирович Бромлей, академик, заместитель Главного ученого секретаря Президиума АН СССР, директор Института этнографии им. Н. Н. Миклухо-Маклая АН СССР, профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов — теория этноса и этнических процессов, методологические проблемы этнографической науки, история и этнография балканских народов, история первобытного общества. Монографии: Крестьянское восстание в Хорватии 1573 г. М., 1958; Становление феодализма в Хорватии. М., 1964; Этнос и этнография. М., 1973 (издана также на болгарском, венгерском, итальянском, немецком и словацком языках); Современные проблемы этнографии (очерки теории и истории). М., 1981; Брак и семья у народов Югославии (совместно с М. С. Кашубой). М., 1982; Очерки теории этноса. М., 1983. Лауреат Государственной премии СССР.



Павел Иванович Пучков, доктор исторических наук, заместитель заведующего лабораторией Института этнографии им. Н. Н. Миклухо-Маклая АН СССР, профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и Университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы. Занимается проблемами этнического развития народов, этнографии и демографии Австралии и Океании, этнической картографии и религиоведения. Монографии: Население Океании. Этногеографический обзор. М., 1967; Формирование населения Меланезии. М., 1968; Современная география религий. М., 1975; Le religioni nel mondo d'oggi. Milano, 1978; Этническая ситуация в Океании. М., 1983. Член редколлегии журнала «Природа».

В мире сегодня живет несколько тысяч различных народов, в совокупности образующих человечество. Они сильно отличаются друг от друга по уровню общественного развития, культуре, расовому облику, наконец, по своей численности. Эта многоликость возникла в результате длительного самостоятельного развития народов, их существования в различных социальных и экологических условиях.

Вместе с тем рубежи между народами, или, как их называют, этнические границы, никогда не были особенно жесткими, «непроницаемыми». На протяжении всей своей истории народы постоянно кон-

тактировали друг с другом, обменивались своими культурными достижениями, смешивались между собой. Все это вместе с принадлежностью к единому биологическому виду — *Homo sapiens* — обуславливает наличие у всех людей Земли и многих общих черт. Человечество в известном смысле представляет собой единство в многообразии.

Для того чтобы разобраться в этом многообразии и в то же время выявить черты, которые связывают различные народы друг с другом, необходимо разбить их на типологические и генетические группы. Но прежде нужно определить, что такое «народ».

ПОНЯТИЯ «НАРОД», «ЭТНОС», «ЭТНИЧЕСКАЯ ОБЩНОСТЬ»

Этнографы вместо термина «народ» чаще употребляют менее знакомый широкому читателю, но более определенный по своему значению термин «этнос». Термин же «народ» полисемантичен: под ним понимают и население какой-либо страны или региона (например, народ Бельгии; как известно, население Бельгии составляют в основном фламандцы и валлоны), и трудящуюся часть населения (выходцы из народа), и просто группу людей (много народу) и, наконец, собственно этнос (например, русский народ).

Кратко этнос можно определить как осознанную культурно-языковую общность. Более развернуто и точно — как исторически сложившуюся на определенной территории устойчивую совокупность людей, обладающих общими относительно стабильными особенностями языка, культуры и психики, а также сознанием своего единства и отличия от всех других подобных образований (самосознанием), фиксированным в самоназвании (этнониме).

Мы будем пользоваться и более широким по отношению к «этносу» термином «этническая общность». Дело в том, что несколько близких между собой в языковом или культурном отношении этносов могут составить метэтнос (например, славяне). Вместе с тем и внутри этноса по каким-либо особенностям выделяются более мелкие общности — субэтносы. Происхождение их различно. В одном случае — это результат территориального обособления части этноса (например, поморы, колымчане и другие группы русских), в другом — следствие незавершенности процесса ассимиляции этносом какой-то инородной группы (сарт-калмаки среди киргизов, бесермяне среди удмуртов и т. д.), в третьем — наличие (хотя бы в прошлом) особого социального статуса (например, казаки), в четвертом — итог профессиональной обособленности (старобрядцы среди русских), в пятом — итог обособленности расовой (например, негры США внутри североамериканской нации) и т. д.

Метэтносы, этносы и субэтносы порой образуют сложную иерархическую систему этнических общностей, которая отражается и в самосознании. Так, один и тот же человек может одновременно осознавать себя и славянином, и поляком, и мазуром. И все же в подавляющем большинстве случаев человек считает себя в

первую очередь принадлежащим к основному этническому подразделению — этносу.

Много споров вызывал среди ученых вопрос об обязательности или необязательности сопряжения этноса с государством. Однако этот вопрос легко решается при строгом разграничении понятий: этноса в узком смысле слова (этникоса), с одной стороны, и этносоциального организма — с другой. Для этникоса сопряженность с государственной общностью не является обязательным условием; этносоциальный организм должен быть непременно сопряжен с государством. Например, итальянцы широко расселены за пределами своей родины — Италии, но все они принадлежат к итальянскому этникоосу. К итальянскому этносоциальному организму относятся лишь итальянцы, обитающие в Италии.

ТИПОЛОГИЗАЦИЯ ЭТНОСОВ

Этносы земного шара порой очень сильно отличаются по численности. Наряду с такими, численность которых превышает 100 млн человек (русские, американцы США, бразильцы, хиндустанцы, бенгальцы, китайцы, японцы), имеются крошечные этносы, не насчитывающие сегодня и 10 человек. Естественно, что столь различные по численности этносы должны существенно отличаться и в качественном отношении, т. е. своим типом (мы увидим далее, что корреляция между количественным составом и типом этноса не является все же особенно жесткой).

При выделении основных типов этносов и отнесении к ним конкретных народов прежде всего учитывается принадлежность этносоциальных организмов к той или иной социально-экономической формации. Для первобытной эпохи характерным типом этносоциального организма является племя, для рабовладельческой и феодальной эпох — народность (соответственно рабовладельческая и феодальная) и для эпох капитализма и социализма — нация (соответственно буржуазная и социалистическая).

Племя превратилось в полноценный этносоциальный организм далеко не сразу. Ранние племена представляли собой этнические образования, имевшие свое имя (самоназвание), свою территорию, свой язык или диалект, свои культурно-бытовые особенности, но не имевшие каких-либо единых органов власти. Такие племена были скорее этникосами, чем этносоциальными организмами. Лишь на более позд-

ней стадии первобытности племени превращаются в организации самоуправления, и их социально-потестарные¹ функции все-сторонне развиваются.

Различия между племенами-этноко-сами и племенами — этносоциальными ор-ганизмами могут быть хорошо прослежены, если мы сравним ранние свидетельства об австралийских племенах, с одной сторо-ны, и племенах ирокезов, обитавших на северо-востоке современных США и в со-седних районах Канады² — с другой.

Австралийские племена в подавляю-щем большинстве случаев представляли собой совокупность экзогамных родов или групп, связанных сознанием общего происхождения, взаимобращением, эпизоди-ческим совершением совместных пред-приятий, культурно-языковой близостью. У них не было самоуправления или каких-то других общих органов власти.

Ирокезские племена коренным обра-зом отличались от племен австралийских аборигенов. У каждого ирокезского пле-мени имелся племенной совет, который включал старейшин и военных вождей входивших в него родов. В руках совета находилось поддержание отношений с другими племенами, он решал вопросы войны и мира, руководил военными опе-рациями. Не все ирокезские племена имели общеплеменного главу, но часть из них избирала одного из родовых старейшин в качестве постоянного пред-ставителя племенного совета.

В нашей этнографической литературе была высказана точка зрения, что основ-ным этническим подразделением эпохи первобытности была группа родственных племен, живших на смежных территориях, говоривших на диалектах одного языка и обладавших многими общими особен-ностями культуры. Такие группы пред-ложено называть соплеменностями, или семьями племен. Однако следует пом-нить, что вплоть до эпохи разложения пер-вобытного общества, когда группы племен стали превращаться в союзы племен, меж-племенные образования не играли никакой социально-потестарной роли. Между вхо-дившими в их состав племенами имелись заметные языковые и культурные раз-

личия, отсутствовало у них и достаточно четкое сознание единства. Таким образом, такие образования вряд ли можно считать основными этническими подразделениями эпохи первобытности, а тем более этно-социальными организмами. Скорее, это бы-ли этнолингвистические общности — обра-зования надплеменного характера, внутри которых прослеживалась определенная языковая и культурная близость и в какой-то мере осознавалось единство происхож-дения.

В эпоху разложения первобытного общества на базе этих этнолингвистиче-ских общностей стали создаваться союзы племен, обладавшие какими-то общими органами власти. Тем не менее союзы пле-мен нельзя считать основными этносоциаль-ными подразделениями того времени. Во-первых, целостность их была весьма относительной: союз сближал племена между собой, но не приводил к их слия-нию. Объединенные племена сохраняли свои диалекты, особенности материальной и духовной культуры, самосознание. Во-вторых, в состав союза нередко входили и соседние племена, довольно далекие в языковом и культурном отношении от основной части племен. В качестве при-мера союза племен можно привести объ-единение, созданное в XIX в. зулусами в Южной Африке.

Союзы племен сыграли важную роль в прогрессивном этническом развитии. При переходе к классовому обществу и государству многие из них трансформи-ровались в народности — этносоциальные организмы докапиталистических обществ. Раннеклассовое государство являлось ис-ключительно важным стимулятором сло-жения народностей. Вводя вместо родо-племенного деления деление по террито-риальному принципу, оно способствовало постепенному уничтожению племенных различий, нивелированию языковых и куль-турных особенностей.

Иногда государство создавалось на основе сразу нескольких племенных объ-единений (например, Древнерусское госу-дарство и Германское королевство IX в.), но в таком случае областные общности, в которые превращались прежние межпле-менные образования, довольно долго со-храняли специфику в области языка, куль-туры, остатки своего особого самосознания. Кстати, именно в таких случаях раннеклас-совые государственные образования часто обнаруживали определенную неустойчи-вость. Весьма осложняла формирование народностей и свойственная для того вре-

¹ Термин «потестарный» был предложен од-ним из авторов настоящей статьи для обозна-чения организации власти в доклассовом, до-государственном обществе. Сейчас он широко используется в этнографической литературе.

² Ирокезы и сейчас живут в США и Канаде, однако от их традиционных культуры и быта почти ничего не осталось.

мени иерархичность политической структуры государств, которая обуславливала острую борьбу между центристскими силами, с одной стороны, и центробежными — с другой.

Вследствие всего этого в раннеклассовом обществе нередко сосуществовали народности различных уровней. Такое положение возникло кое-где еще в античную эпоху. Например, в Древней Греции, где существовали афинская, спартанская, коринфская и другие народности, сформировавшиеся в отдельных полисах, в рамках общегреческих политических объединений начала формироваться гораздо более широкая по своему масштабу эллинская макронародность. Но особенно подобная ситуация была характерна для феодальной эпохи, когда возникавшие крупные феодальные государства на первых порах, как правило, включали в свой состав автономные образования (герцогства, графства, княжества и т. д.). Так, в Священной Римской империи германской нации наряду с немецкой макронародностью существовали саксонская, франкская, баварская, швабская и другие народности более низкого таксономического ранга. Правда, первая со временем потеряла черты этносоциального организма, но продолжала функционировать как этникос.

В советской этнографической науке ставился вопрос о необходимости различения типов основных этнических подразделений, возникших в условиях рабовладельческой и феодальной формаций. Справедливо указывалось, что этносы этих двух формаций существенно отличались друг от друга соотношением социально-классовых компонентов. В то время как этносоциальный организм в рабовладельческом обществе охватывал преимущественно свободное население и не включал рабов, этносоциальный организм в феодальном обществе, наоборот, объединял в первую очередь трудовую люд, а феодалы зачастую в его состав не входили. Таким образом, можно говорить о существовании двух разных типов народностей: рабовладельческой и феодальной.

Народности (как, впрочем, и более высокий тип этноса — нация) существенно отличаются от предшествующих им племен по целому ряду признаков. Если основным связующим началом в племени являются брачно-родственные отношения, то связи, сплачивающие в единое целое народность, территориального порядка. Эти связи складываются в пределах государства, причем последнее выступает

как мощная сила, цементирующая народность.

Народность существенно уступает племени по своему культурному однообразию. Это связано, во-первых, с тем, что народность обычно объединяет несравненно большее число людей, чем племя, и, во-вторых — с ее социальной неоднородностью, наличием в ней антагонистических классов.

Возврат к большему культурному единообразию, но уже на иной, чем в племени, основе происходит в нации — более развитом, по сравнению с народностью, этносоциальном организме. Усиление культурной однородности связано прежде всего с тем, что внутренние культурно-информационные связи в нации, как правило, намного интенсивнее, чем в народности. В нации идет быстрое нивелирование локальных различий в языке и культуре.

Нация может возникнуть двумя путями. Первый путь — это трансформация в нацию какой-нибудь одной народности, второй — сплочение в нацию нескольких народностей, обычно родственных по языку и культуре. Так, английская народность трансформировалась в английскую нацию, французская же нация сложилась в результате слияния северофранцузской и провансальской народностей.

Как и народности, нации скреплены связями территориального, а не брачно-родственного характера, и государство и здесь играет роль важного цементирующего фактора. Однако для обеспечения сплочения нации еще большее значение, чем политические связи, имеют связи экономические.

Буржуазные нации состоят из антагонистических классов, в первую очередь буржуазии и пролетариата, и их культурное единство носит в силу этого ограниченный характер. В. И. Ленин отмечал наличие у буржуазной нации двух культур: культуры господствующих классов и культуры классов эксплуатируемых³.

По этому признаку буржуазные нации коренным образом отличаются от наций социалистических, возникающих в условиях социалистического общества путем коренного преобразования наций предшествующей формации. Отсутствие в социалистических нациях антагонистических классов, дружественные отношения между существующими двумя классами — рабочими и крестьянами — ведет к установ-

³ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 24, с. 129.

лению невиданной дотоле в крупных этнических образованиях социальной монолитности и культурной однородности.

Нередко считается, что нация — это обязательно крупная этническая общность. Такая точка зрения не совсем верна. Хотя большинство существующих ныне наций действительно значительны по своему масштабу, в мире имеется немало очень небольших этносов, которые насчитывают всего одну — две сотни тысяч, а иногда лишь несколько десятков тысяч или даже несколько тысяч человек, но по своим прочим показателям (формационная принадлежность, социально-классовая структура, наличие государственности, интенсивность внутренних культурно-информационных связей) не отличаются от крупных национальных общностей. И все же, поскольку по численности такие этносы резко отличаются от подавляющего большинства наций, целесообразно выделить их в особый подтип микронаций.

Нация — это этносоциальный организм эпох капитализма и социализма. Что же касается этносов этих эпох, то для них может быть предложен термин «национальность», хотя следует помнить, что он полисемантичен.

В соотношении этника (национальности) и этносоциального организма (нации) можно выявить две противоречивых тенденции. С одной стороны, наблюдается совершенно четкое стремление каждой национальности оформиться в особое государство, что само по себе должно было бы вести ко все большему совпадению этника и этносоциального организма. В то же время для XIX и XX вв. весьма характерны значительные миграционные перемещения, что приводит к отрыву от многих этнических образований значительных их частей и появлению определенного разрыва между этником и этносоциальным организмом. Факты показывают, что сейчас имеется очень мало крупных национальностей, которые были бы почти целиком сосредоточены в пределах своего государства. Так, если взять национальности Европы (численностью более 10 млн), то за пределами родной страны расселено 27% венгров, 17% греков, 16% итальянцев, 16% португальцев, 12% немцев (речь идет о немцах, живущих вне ФРГ, ГДР и Западного Берлина), 12% поляков, 10% англичан, 9% голландцев, 8% испанцев, 7% чехов и т. д. Все эти живущие за рубежом лица (не считая, конечно, относительно небольшого числа временных мигрантов) не входят в соответствующие этносоциаль-

ные организмы, хотя и принадлежат к одноименным этникасам. Близкую картину можно увидеть и во многих других частях света¹.

И тем не менее в большинстве случаев основная часть этника все же относится к какому-нибудь одному этносоциальному организму. Так, из перечисленных выше этносов единственное исключение составляют немцы, распадающиеся в этносоциальном отношении на немцев ФРГ, немцев ГДР и немцев Западного Берлина.

Известны и другие случаи распада этносов на несколько крупных самостоятельных этносоциальных организмов типа нации. Так, бенгальский этникос распадается на два этносоциальных организма: бенгальцев ($\frac{3}{5}$ общей численности этника) и западных бенгальцев ($\frac{2}{5}$ общей численности).

Разделен государственной, а соответственно и этносоциальной границей, и пуштунский этникос. Сейчас фактически существуют два пуштунских этносоциальных организма: в Афганистане (составляет $\frac{2}{5}$ общей численности пуштунов) и в Северо-Западной провинции Пакистана ($\frac{3}{5}$ численности пуштунов). Примеры разделения этника (национальности) на два или более этносоциальных организма (нации) можно продолжить.

Хотя, как уже отмечалось, типы этносоциальных организмов связаны с определенными социально-экономическими формациями, эта связь далеко не всегда является однозначной. Ряд наций сложился еще в конце феодальной эпохи в ходе вызревания в соответствующей стране капиталистических отношений. Наоборот, многие народности и даже племена существуют в условиях капиталистической социально-экономической формации. Продолжают существовать отдельные народности и после победы социализма.

В советской этнографической науке буржуазные и социалистические народности было предложено именовать вторичными, отличая их от народностей первичных, характерных для рабовладельческой и феодальной формаций. Указывалось, что у вторичных народностей внутренние культурно-информационные связи обычно слабее, чем нити, скрепляющие каждую из них с крупной нацией,

¹ Лишь небольшое число крупных национальностей почти целиком сосредоточено в пределах одной страны. Среди них бразильцы (99,8%), бирманцы (99,8%), сиамцы (почти 100%), ряд индийских наций: маратхи, ория, каннара и некоторые другие.

с которой она ассоциирована. Для вторичных народностей характерно широкое распространение двуязычия, их представители часто лучше владеют литературным языком нации, с которой они связаны, чем своим родным литературным языком (последний обычно бывает слабо развит, а иногда и совсем отсутствует). Отличаются вторичные народности от наций и по своей социально-классовой структуре. Однако порой довольно трудно решить вопрос, является ли этнос вторичной народностью или микронацией.

Племена, сохранявшиеся в феодальных и сохраняющиеся сейчас в ряде капиталистических и даже социалистических государств (например, во Вьетнаме), конечно, существенно отличаются от «классических» племен первобытнообщинной эпохи. Причем эти (назовем их вторичными) племена неодинаковы по своему характеру. Некоторые из них еще сохраняют близкий к племенам первобытности облик, что связано, как правило, с их изолированностью, слабой вовлеченностью в политическую, хозяйственную и культурную жизнь страны. Обычно же вторичные племена лишь частично, пережиточно сохраняют отдельные элементы своей прежней организации, подверглись сильной трансформации и приспособились к новым условиям существования. Бывает и так, что племенная организация сохраняется лишь как оболочка, внутренняя же сущность этих этносоциальных образований уже совсем иная. В условиях феодальных и капиталистических отношений родоплеменная солидарность нередко прикрывает возникшие социальное расслоение и эксплуатацию. Наконец, случается, что в зарубежной литературе «племенами» неверно называются этносы, насчитывающие сотни тысяч и даже миллионы человек и являющиеся в действительности народностями.

«НЕСТАНДАРТНЫЕ» ФОРМЫ ЭТНИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ

Следует отметить, что упомянутое выше трехчленное деление (племя, народность, нация) не может охватить всего разнообразия этносов, существующих на нашей планете. Так для ряда регионов (например, Меланезии), находившихся к моменту первых контактов с европейцами на стадии первобытности, характерны прежде всего не племена, а рано возникшие мелкие этнотерриториальные образования (зарубежные исследователи неудачно называли

их «округами»). По своим размерам они напоминают племена, однако сцементированы связями соседского, территориального, а не брачно-родственного характера.

Своеобразное место среди этнических образований занимают также так называемые переходные этнические группы, образуемые давно живущими иммигрантами и особенно их потомками. Определение «переходные» хорошо подчеркивает промежуточный характер этих групп, которые, с одной стороны, еще не оторвались целиком от исходного этноса, с другой — уже начали ассимилироваться основной нацией страны пребывания.

Весьма интересны также этнические группы, которые можно встретить в зоне контакта двух родственных между собой этносов. Такие группы нередко не имеют четкого этнического самосознания. В отличие от переходных иммигрантских групп, их можно назвать «пограничными» группами.

Наконец, нужно еще отметить существующие в некоторых районах мира (прежде всего в Южной Азии) крупные общности, не имеющие четкого общего самосознания, но говорящие на одном языке (точнее, на постепенно переходящих друг в друга диалектах) и обладающие определенной общностью культуры. Наиболее яркими примерами таких общностей являются хиндустанцы и раджастханцы в Индии. Каждая из этих общностей состоит из большого числа локальных групп, однако границы между этими группами неопределенны.

Весьма специфичны и также мало похожи на основные типы этносов этнические образования, возникавшие из разнородного элемента в центрах морской торговли, в частности в ряде портовых городов Индонезии (джакарты, тернатцы, тидорцы и др.). В нашей литературе для образований такого типа было предложено название «торговые этносы».

ТИПОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭТНОСОВ ПО КРУПНЫМ РЕГИОНАМ МИРА

Основная часть этносов Советского Союза обычно классифицируются либо как нации, либо как народности. Хотя достаточно убедительные научные критерии для отнесения того или другого народа нашей страны к одному из этих типов пока не выработаны, сложилась определенная традиция называть нациями этносы, образующие союзные и автономные

республики, и народностями — этносы, имеющие автономные области и автономные округа или вообще не имеющие автономий, но расселенные преимущественно в СССР. Что же касается этносов, которые представлены в Советском Союзе лишь своими небольшими частями, то их чаще всего именуют национальными группами. Такая группировка привлекает своей простотой и выдержанностью, но далеко не всегда может быть достаточно обоснована в научном отношении. Если правильность отнесения к нации этносов, по имени которых названы союзные республики, или такого крупного имеющего автономную республику народа, как татары, не вызывает никаких сомнений, то далеко не все основные этносы других автономных республик могут быть безоговорочно названы нациями. Да и сам критерий «автономная республика — нация, автономная область — народность» весьма шаток, о чем красноречиво говорит следующий пример. Если мы возьмем два близкородственных этноса — балкарцев и карачаевцев, то первый из них, в соответствии с вышеуказанным критерием, должен быть назван нацией, а второй — народностью. На деле же карачаевцев в два раза больше, чем балкарцев, а по степени консолидированности, внутренним связям и прочим показателям оба этих этноса мало отличаются друг от друга. Сложно решить, руководствуясь принятым обычно критерием, и вопрос о том, к какому типу следует отнести многочисленные дагестанские этносы, имеющие общую автономную республику. Во всех таких спорных случаях обычно вообще избегают относить этнос к какому-нибудь определенному типу. Думается, что проблема типологизации небольших этносов нашей страны требует специального научного изучения.

В зарубежной Европе двумя типами этносов (не считая национальных групп) также являются нации (социалистические и буржуазные) и вторичные народности. К нациям безоговорочно могут быть отнесены основные этносы всех более или менее значительных европейских стран. В тех случаях, когда в стране имеется несколько крупных, сопоставимых по численности этносов, то все они, по-видимому, также могут быть квалифицированы как нации, особенно при наличии политико-административной оформленности. Так, в Чехословакии живут две нации (чехи и словаки), в Югославии — по меньшей мере пять наций (сербы, хорваты, словенцы, черногорцы, македонцы)⁵, в Бельгии —

две нации (фламандцы и валлоны). Сложнее проблема типологизации этносов Швейцарии. Там, как известно, имеется четыре народа: германошвейцарцы, франкошвейцарцы, италошвейцарцы и ретороманцы, однако их этнические границы в большинстве случаев не совпадают с границами федеративных образований страны — кантонов. Кроме того, германошвейцарцы в несколько раз многочисленнее следующих за ними франкошвейцарцев (соответственно 63% и 17% населения страны), франкошвейцарцы, в свою очередь, резко превосходят по численности италошвейцарцев (3% населения), а число ретороманцев совсем невелико (1%). Тем не менее все четыре языка этих этносов объявлены официальными. В зарубежной литературе швейцарцев в целом нередко называют нацией, однако следует помнить, что за рубежом в термин «нация» часто вкладывается несколько иной смысл, чем у нас. Впрочем, мнение, что швейцарцы приближаются к тому, что можно назвать нацией, высказывалось и некоторыми советскими исследователями. И все же думается, что в настоящий момент швейцарцы являются не нацией, а надэтнической, меэтнической общностью. Нациями же в Швейцарии, судя по всему, пока остаются четыре основных этноса страны, причем италошвейцарцы и ретороманцы, ввиду своей малочисленности, могут быть отнесены к подтипу микронаций⁶.

Кстати, к микронациям можно отнести и ряд других небольших этносов Европы, имеющих свои государственные образования или пользующихся широкой автономией: андорцев, санмаринцев, лихтенштейнцев, фарерцев и др.

К числу наций могут быть также отнесены и те европейские народы, которые имеют достаточно компактную территорию и пользуются определенной автономией в рамках своих государств: каталонцы, баски, галисийцы в Испании и шотландцы в Великобритании (отнесение двух последних этносов к нациям требует определенных оговорок).

⁵ Гораздо более спорен вопрос о типе этноса у славян-мусульман (так называемых боснийцев), а также у живущих в Югославии албанцев.

⁶ Отнесение ретороманцев к нации (пусть даже микронации) несколько спорно. Дело заключается в том, что в этническом и языковом отношении они недостаточно консолидированы (в частности, на разных диалектах ретороманского языка создана своя особая письменность), а территория их расселения не является компактной.

Все остальные этносы Европы по своему типу представляют собой либо вторичные народности, ассоциированные с основной нацией страны, либо национальные группы (в том числе переходные). Так, бретонцы, эльзасцы, корсиканцы — это народности, ассоциированные с французами, уэльсцы (валлийцы) — с англичанами, лужицане — с немцами ГДР и т. д. Из числа имеющих в Европе национальных групп отметим алжирцев и представителей других арабских народов во Франции, ямайцев и прочих выходцев из Вест-Индии в Великобритании.

В зарубежной Азии можно встретить этносы самой разной численности и самого разного типологического спектра. К нациям там можно отнести подавляющее большинство народов, насчитывающих по нескольку десятков или даже сотен миллионов человек (например, китайцев, японцев, вьетов и др.). Выше уже отмечалось, что в ряде азиатских стран имеются случаи несовпадения этносоциальных организмов с этникосами (некоторые крупнейшие народы Южной Азии и т. д.). Указывалось также, что отдельные крупные этнические образования Азии (прежде всего хиндустанцы) в типологическом отношении весьма нестандартны.

Что касается этносов численностью от 1 млн до 10 млн человек, то далеко не все из них можно назвать нациями. Если такие народы, как монголы МНР и кхмеры, имеющие свои государства, бесспорно являются нациями, то луров Ирана и хазарейцев-берберы Афганистана скорее следует назвать вторичными народностями.

Народностями можно считать и большинство азиатских этносов, насчитывающих десятки и сотни тысяч человек. Одно из немногих исключений — мальдивцы (около 150 тыс.), обладающие своей государственностью и являющиеся микронацией.

Встречаются в Азии народности численностью всего в несколько тысяч человек. В большинстве же случаев этносы такой численности, а также еще меньшие народы представляют собой племена, пережиточно сохраняющиеся в некоторых районах Юго-Восточной и Южной Азии.

В Африке вполне сложившихся наций сравнительно немного. Это прежде всего арабские народы Северной Африки, амхара в Эфиопии, сомали в Сомали, малагасийцы на Мадагаскаре, африканеры и, возможно, англоафриканцы в ЮАР. Можно выделить среди африканских народов и несколько микронаций. Они занимают ряд обретших недавно независимость островов и архипелагов в Атланти-

ческом и Индийском океанах (сантомийцы, сейшельцы и др.).

В Африке к югу от Сахары наряду с племенными общностями и небольшими народностями численностью в десятки или сотни тысяч человек имеются сейчас также крупные многомиллионные этносы (хауса, йоруба иibo в Нигерии, зулу, коса и другие народы ЮАР и т. д.). Однако степень консолидированности этих этносов пока невелика, они сосуществуют в своих странах с большим числом мелких этнических образований, не имеют в большинстве случаев отдельной государственности, недостаточно развиты в промышленном отношении (в частности, у них весьма низок удельный вес рабочего класса), сохраняют многочисленные пережитки племенной структуры. Вследствие всего этого такие народы, вероятно, правильнее квалифицировать не как нации, а как народности. Что же касается наций в этом регионе, то их формирование скорее всего пойдет в рамках границ ныне существующих государств.

В Америке подавляющему большинству более или менее значительных государств соответствует какая-нибудь одна нация, имеющая сходное с государством наименование (в Мексике — мексиканцы, в Колумбии — колумбийцы, в Аргентине — аргентинцы, в Бразилии — бразильцы и т. д.). Исключение составляет Канада, специфика истории которой привела к формированию в стране двух наций: англоканадцев и франкканадцев.

Более или менее крупные индейские народы Америки (ацтеки, майя, чибча, аймара, арауканы и т. д.) являются по своему типу вторичными народностями. Особое положение занимает крупнейшая индейская этническая общность кечуа (13 млн), расчлененная государственными границами на несколько частей. Хотя кечуа до сих пор сохраняют в известной мере языковое и культурное единство и осознают себя чем-то единым, отдельные части этого народа в Перу, Боливии, Эквадоре, Аргентине, Колумбии все более ассоциируются с основными этносами соответствующих стран.

В бассейнах Амазонки, Ориноко и некоторых других районах Америки все еще можно встретить мелкие племенные общности, насчитывающие по нескольку тысяч, несколько сот, а иногда и по нескольку десятков человек.

В небольших недавно получивших независимость государствах, расположенных преимущественно на островах Вест-

Индии, сложились малые этносы, которые можно назвать микронациями (багамцы, сентлюсийцы, сентвинсентцы, гренадцы и др.).

Пеструю картину в типологическом отношении представляют этносы самой малой части света — Австралии вместе с Океанией. Самыми крупными этническими образованиями здесь являются две молодые нации, сформировавшиеся в результате консолидации потомков переселенцев из Европы, прежде всего с британских островов: англоавстралийцы и англоновозеландцы. В однородных по этническому составу государствах Океании сложилось несколько аборигенных микронаций (тонга, тувалу, науру и др.). Имеются здесь также народности (маори, таитяне и др.), племена (в Папуа — Новой Гвинее и некоторых других странах), ранние этнотерриториальные образования (на Соломоновых островах, в Вануату).

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭТНОСОВ

Проведенная выше типологизация этносов является по существу одной из систем их классификации — классификацией историко-типологической. Однако наряду с этой классификацией, которая дает возможность типологического объяснения сходства этносов между собой, существуют классификации, дающие контактное (диффузионное) и генетическое истолкование этого сходства. Первая из них — ареальная классификация, вторая — классификация этнолингвистическая.

При ареальной классификации народы группируются по крупным регионам, называемым историко-культурными (или историко-этнографическими) областями, в пределах которых в процессе длительного исторического развития сложилась определенная культурная общность. Общность эта прослеживается прежде всего в различных элементах материальной культуры, а также в отдельных явлениях культуры духовной. Ареальную классификацию можно рассматривать как своего рода историко-этнографическое районирование⁷.

Существует еще один вариант классификации на основе культурных особенностей — выделение хозяйственно-культурных типов. Однако, по нашему мнению, этот вариант может быть принят для группировки народов лишь с рядом оговорок. Следует помнить, что к одному хозяйственно-культурному типу в некоторых случаях может быть отнесен не народ в целом, а лишь часть народа, его этнографическая, а точнее, этнохозяйственная группа. Кроме того, в силу крайней сложности эконо-

Ареальная классификация народов пока недостаточно разработана. Ученые еще не достигли единства взглядов относительно числа основных историко-культурных регионов мира, а также относительно границ этих регионов. Поэтому мы не будем приводить здесь их перечень.

Наиболее популярна среди этнографов классификация этнолингвистическая, т. е. группировка народов по признаку языкового родства. Важным достоинством этой классификации является ее объективный характер: она в меньшей мере, чем другие классификации, дает исследователю простор для субъективных оценок. Нужно также учитывать, что язык — один из важнейших признаков этноса, и при этнолингвистической классификации выделяются группы народов, либо связанные единством происхождения, либо имевшие длительные культурные контакты.

По своей форме этнолингвистическая классификация очень близка к генеалогической классификации языков. Этнографы почти без изменений используют выработанную лингвистами систему для группировки народов мира. Поэтому остановимся прежде всего на некоторых важнейших принципах генеалогической классификации языков.

Теоретически все современные языки мира должны быть хотя бы весьма отдаленно родственны друг другу. К такому суждению мы вынуждены будем прийти, если примем две следующие посылки (а их принимают фактически все советские исследователи, занимающиеся соответствующими проблемами): 1) все люди имеют общее происхождение, будучи генетически связаны с каким-то одним видом ископаемых антропоидов; 2) язык появился вместе с человеком. Однако теоретически обоснуемое родство языков может практически не обнаруживаться, и языки, дивергенция которых произошла, скажем, 30 тыс. лет назад, не сохранили каких-либо заметных следов родства.

Тем не менее некоторые лингвисты-компаративисты утверждают, что существует отдаленное родство между подавляющим большинством языков северной части Евразии (включая почти всю Европу) и Северной Африки. На языках этой огромной макросемьи, получившей в науке название ностратической, сейчас говорит свыше $\frac{3}{5}$ всего населения мира.

мической структуры в нашу эпоху эта классификация скорее пригодна не для современного общества, а для общества архаического.

Термин «ностратические языки» был предложен датским лингвистом Х. Педерсеном, впервые выдвинувшим гипотезу о генетической связи языков нескольких крупнейших семей, которые считались прежде совершенно неродственными. В то время мысль о родстве большой группы языков Евразии и Северной Африки была лишь более или менее вероятной гипотезой, однако последующие исследования (и прежде всего изыскания выдающегося советского лингвиста В. М. Иллич-Свитыча) показали научную обоснованность этого предположения. Более того, со временем рамки nostrатической макросемьи были значительно расширены. Если Х. Педерсен считал nostrатическими лишь индоевропейские, семито-хамитские и урало-алтайские языки, а В. М. Иллич-Свитыч включал в эту группу также картвельские и дравидийские языки (кроме того, он причислял к алтайским языкам корейский язык), то позже сюда были добавлены еще японский, нивхский, юкагирский и чукотско-камчатские языки. Высказывалось также мнение о принадлежности к nostrатической макросемье эскимосско-алеутских языков.

Предполагается, что nostrатический праязык — предок всех современных nostrатических языков — сложился в верхнем палеолите в Юго-Западной Азии и прилегающих областях Средней Азии.

В мезолите, в эпоху отступления последнего, вюрмского, оледенения и климатического потепления, nostrатические племена расселились по обширной территории. В ходе своего расселения они оттеснили и частично ассимилировали племена, которые ранее там обитали.

Заняв многие далеко расположенные друг от друга области, nostrатические племена образовали несколько обособленных ареалов. Именно эти ареалы послужили очагами, где начали формироваться новые праязыки — предки целого ряда будущих языковых семей. Так, в Малой Азии, вероятно, возник общеиндоевропейский язык, носителей которого связывают с халафской и чатал-хююкской культурами⁶. К югу от ареала индоевропейской языковой общности, судя по некоторым данным, формировался семито-хамитский проязык. Севернее индоевропейцев жили, по-видимому, носители картвельского пра-

языка, восточнее — носители дравидийского праязыка.

Прародина уральских (финно-угорских и самодийских), тюркских, монгольских и тунгусо-маньчжурских языков находилась, вероятно, на северо-восточной периферии.

В результате многовековых переселений языки ряда семей широко распространились по различным регионам мира. На индоевропейских языках говорит сейчас население большей части СССР, зарубежной Европы, Ирана и Афганистана, северных и центральных районов Южной Азии, а также большинство жителей Америки и Австралии. Народы семито-хамитской семьи широко расселились в настоящее время по Юго-Западной Азии и Северной Африке. Носителей уральских языков можно встретить, кроме их старого места обитания — Зауралья, также на крайнем севере Западной и Средней Сибири, в Поволжье, на севере Европейской части СССР, в Советской Прибалтике, Финляндии, на севере Скандинавии и в Венгрии. Тюркоязычные народы образуют целый ряд ареалов от Балканского п-ова до Якутии. Монголоязычные народы распространились на обширных пространствах Центральной Азии и в прилегающих районах, хотя один из них (калмыки) расселен сейчас западнее низовьев Волги. Малочисленные народы, говорящие на тунгусо-маньчжурских языках, освоили огромные просторы Восточной Сибири и Дальнего Востока, живут они и в отдельных районах на севере КНР.

Суммируем теперь материал о составе nostrатической макросемьи и приведем данные о числе говорящих на языках семей, которые входят в ее состав⁷. Итак, эта макросемья объединяет следующие семьи: индоевропейскую (к ней принадлежат в языковом отношении этносы численностью 1938 млн, составляющие 46% населения мира), семито-хамитскую, или афразийскую (203 млн — 5%), картвельскую (4 млн), уральскую (24 млн), дравидийскую (162 млн — 4%), тюркскую (97 млн — 2%), монгольскую (5 млн), тунгусо-маньчжурскую (4 млн), чукотско-камчатскую (23 тыс.) и, возможно, эскимосско-алеутскую (0,1 млн). На изолированных языках, также относящихся к nostrатической макросемье, говорят японцы (116 млн — 3% населения мира), корейцы (57 млн — 1%), нивхи (4 тыс.), юкагиры (0,8 тыс.).

⁶ Некоторые ученые считают прародиной индоевропейцев северное и западное Причерноморье.

⁷ Все данные о численности относятся к 1978 г.

Следует отметить, что в классификации ностратических языков до сих пор остается ряд дискуссионных моментов. Так, многие ученые объединяют тюркские, монгольские и тунгусо-маньчжурские языки в одну алтайскую семью, хотя имеются некоторые основания считать эти языки не генетической группой, а языковым союзом, т. е. общностью, возникшей в результате взаимодействия языков, распространенных в соседних регионах, но не связанных общим происхождением. Немало исследователей причисляет к алтайской семье также корейский и японский языки. Иногда в уральскую семью включают юкагирский язык, реже — эскимосско-алеутские языки. Наконец, продолжает сохранять некоторое число сторонников и популярная прежде гипотеза об урало-алтайском генетическом единстве.

Картвельские языки нередко объединяются вместе с северокавказскими в единую кавказскую семью, хотя были приведены аргументы в пользу того, что эти языки скорее образуют не генетическую группу, а языковой союз.

Из народов, населяющих северную часть Евразии, не могут быть отнесены в языковом отношении к ностратической макросемье только носители северокавказских (абхазско-адыгских и нахско-дагестанских) языков (3 млн), а также баски (1 млн), буриши (50 тыс.) и кеты (1 тыс.)¹⁰. Отметим, что они расселены в основном в труднодоступных горных или таежных районах и образуют своего рода изолаты.

В Африке ностратические семито-хамитские языки соседствуют на юге с многочисленными языками, не относящимися к ностратической макросемье. Эти африканские языки изучены гораздо хуже, чем большинство языков Евразии и Северной Африки, и поэтому общепризнанной их классификации пока не имеется. Довольно широко используется в настоящее время классификация, предложенная американским лингвистом Дж. Гринбергом, согласно которой языки Африки к югу от Сахары делятся на три крупные семьи: нигеро-кордофанскую, нило-сахарскую и койсанскую. Самая многочисленная из

них — нигеро-кордофанская семья. Языки этой семьи являются родными для этносов общей численностью 245 млн (6% всего населения мира). К северу от нигеро-кордофанской семьи живут этносы, говорящие на языках нило-сахарской семьи (25 млн), к югу — народы, говорящие на языках койсанской семьи (0,2 млн). Советский лингвист Д. А. Ольдерогге высказывает предположение о возможном родстве всех африканских языков к югу от Сахары (кроме койсанских: готтентотских и бушменских) и называет их зинджскими. Таким образом, не исключено, что подавляющее большинство языков Африки южнее Сахары принадлежат к единой макросемье языков.

Большинство народов Восточной и Юго-Восточной Азии говорит на языках трех семей: китайско-тибетской (сино-тибетской), австроазиатской и австронезийской. Австронезийские языки широко распространены также в Океании¹¹, австроазиатские — в Южной Азии. Общая численность этносов, говорящих на китайско-тибетских языках — 992 млн (23% всего населения мира), на австроазиатских — 74 млн (2%), на австронезийских — 207 млн (5%). Не вполне установлено место в лингвистической классификации тайских языков, на которых говорят народы численностью 60 млн (свыше 1% населения мира). Одни исследователи включают эти языки в китайско-тибетскую семью, другие — сближают их с австроазиатскими и австронезийскими языками.

Языки всех указанных семей — китайско-тибетской, тайской, австроазиатской, австронезийской — не обнаруживают какого-либо родства с ностратическими языками. С другой стороны, можно предполагать отдаленную генетическую связь языков Юго-Восточной Азии между собой. Так, ряд лингвистов утверждает, что между австронезийскими, австроазиатскими и тайскими языками существует определенное родство, и эти языки называют сейчас австрическими. Была выдвинута гипотеза о наличии так называемого тихоокеанского ствола языков, объединяющего австрические языки с языками китайско-тибетскими. Другие же исследователи сближают китайско-тибетские языки с кетским языком.

Однако значительная часть этносов Океании и аборигенные народы Австралии говорят на языках, не связанных с тихо-

¹⁰ Некоторые исследователи предпринимали попытки сблизить баский и буришский (бурушаски) языки с разными ностратическими языками (баский — с картвельскими и семито-хамитскими, бурушаски — с картвельскими), однако они не увенчались успехом. Большого внимания заслуживает предположение об отдаленном родстве северокавказских языков с кетским (так называемая северокавказско-енисейская макросемья языков).

¹¹ На одном из австронезийских языков говорит также население Мадагаскара.

океанским стволем. Языки эти соответственно называют папуасскими и австралийскими. Но если все языки австралийских аборигенов образуют единую семью, или макросемью (0,2 млн), то многие папуасские народы не обнаруживают какого-либо родства в языковом отношении. На Новой Гвинее и прилегающих островах (в том числе и на расположенных в пределах Азии островах Хальмахера, Тимор, Алор и Пантар) могут быть выделены следующие семьи или, точнее, макросемьи: трансновогвинейская (3 млн), западнопапуасская (0,3 млн), сепик-раму (0,3 млн), торричелли (0,1 млн), восточнопапуасская (0,1 млн), восточночендравасихская (24 тыс.), залива Чендравасих (17 тыс.), ско (9 тыс.), квомтари (4 тыс.), араи (2 тыс.), амто-мусиан (0,4 тыс.). Кроме того, восемь папуасских этносов говорят на изолированных языках (по крайней мере связь этих языков с какими-либо другими пока не установлена). Это борумесо (0,7 тыс.), варенбори (0,4 тыс.), пауви (0,1 тыс.), масеп, юри (1 тыс.), нагатман (0,7 тыс.), буса (0,4 тыс.), пороме (2 тыс.), маисин (3 тыс.).¹² Хотя все перечисленные семьи и изолированные языки обычно считаются не родственными друг другу, некоторые исследователи высказывают предположения о весьма отдаленном родстве по крайней мере некоторых из папуасских языков. Делаются также попытки сблизить папуасские языки с языками андаманцев (1 тыс.) — вымирающего коренного населения Андаманских островов. Отметим полутно, что андаманская языковая семья занимает изолированное положение и не связана ни с какими языками Южной или Юго-Восточной Азии.

Изолированы в языковом отношении и айны (20 тыс.), сосредоточенные сейчас в основном на японском острове Хоккайдо.

Языки коренных жителей Америки — индейцев во многих случаях весьма сильно отличаются друг от друга. Их классификация еще менее разработана, чем классификация языков африканских. Согласно классификации Дж. Гринберга, Н. А. МакКуауна и Э. Сэпира, имеется девять семей (точнее, макросемей) индейских языков: алгонкино-мосанская (к ней относятся этносы численностью 0,4 млн), на-дене (0,3 млн), пенути (5 млн), хока-сиу (0,3 млн), ацтеко-таноанская (2 млн), макро-ото-манге (2 млн), макро-чибча

(0,6 млн), же-пано-карибская (0,6 млн), андо-экваториальная (19 млн). Индейский народ тараска (80 тыс.) говорит на изолированном языке.

Ученые неоднократно делали предположения об отдаленном родстве всех индейских языков. Итальянский лингвист А. Тромбетти высказал такую точку зрения еще в 20-х годах нашего столетия. С гипотезой об америндском языковом единстве выступила и Э. Мэйтсон.

Такова в самых общих чертах классификация народов по признаку языкового родства. Выше уже отмечалось, что она по форме очень близка к генеалогической классификации языков. Однако всегда следует помнить, что классифицируемые объекты в этих группировках разные. Кроме того, при этнолингвистической группировке народов ученые вынуждены в отдельных случаях отступать от генеалогической классификации языков. Так, по чисто языковому признаку основная масса ирландцев должна быть причислена к германской группе индоевропейской семьи. Но этнографы не следуют в данном случае за генеалогической классификацией языков и относят ирландцев к кельтской группе индоевропейской семьи. Они исходят при этом из того, что ирландцы имеют кельтское происхождение, сравнительно недавно были кельтоязычны и что в некоторых западных районах Ирландии кельтская речь звучит до сих пор.

Кроме того если строго следовать генеалогической классификации, то многие этносы пришлось бы в настоящее время разделить между двумя и более группами, так как нередко случается, что для какой-то части народа (обычно небольшой) родным является не исконный язык этого народа, а язык какого-нибудь иного этноса.

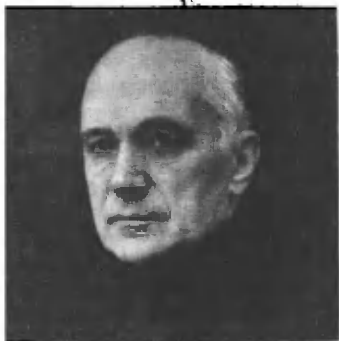
Таким образом, этнолингвистическая классификация далеко не полностью совпадает с генеалогической классификацией языков, и при разработке ее порой встречаются значительные трудности, многие из которых еще предстоит преодолеть этнографам.

В заключение хочется сказать, что все виды классификаций этносов имеют огромное значение для учета тенденций этнического развития и для этнического прогнозирования, но это уже тема для специальной статьи.

¹² Маисин говорят на смешанном папуасско-австронезийском языке.

«Закон сохранения ошибок» в изобразительном искусстве

Б. В. Раушенбах



Борис Викторович Раушенбах, член-корреспондент АН СССР, профессор Московского физико-технического института. Специалист в области механики и процессов управления. Автор книг: *Вибрационное горение*. М., 1961; *Управление ориентацией космических аппаратов* (в соавторстве с Е. Н. Токарем). М., 1974; *Пространственные построения в живописи*. М., 1980. Действительный член Международной академии астронавтики. Лауреат Ленинской премии.

Когда художник передает геометрию зрительно воспринимаемого пространства и заполняющих его предметов, он оказывается перед двумя взаимосвязанными задачами: во-первых, передать на картине свое зрительное восприятие неискаженно и, во-вторых, если это невозможно, решить, на какие именно элементы изображения «падут» неизбежные искажения естественного восприятия¹.

Искусствовед, изучающий творчество отдельного художника или целой эпохи, в принципе должен был бы ответить на не менее сложные вопросы: где, в чем и насколько (количественно) отходит художник от точного «следования натуре», в чем причины этого — в геометрической невозможности или в сознательном отходе от «естественности», обусловленном иными художественными замыслами. Без ответа на такие вопросы искусствовед невольно может ошибочно истолковать то или иное произведение, подчеркивая, например, его особую «геометрию», что на деле является простым следствием известных теорем.

Решение этих проблем может быть

плодотворным лишь при условии, что будет создан некий эталон геометрически правильного изображения; сравнение его с конкретными картинами и позволит делать заключения о соответствиях или отклонениях от этого образца.

До настоящего времени в качестве такого эталона использовались построения, выполненные по правилам ренессансной — прямой — перспективы. Однако он вряд ли состоятелен, поскольку подобные правила игнорировали преобразующую работу мозга при зрительном восприятии — обстоятельство, которое необходимо подчеркнуть². Лишь с учетом деятельности мозга можно ставить задачу разработки новой — научной — системы перспективы, которая полностью бы соответствовала зрительному восприятию, задачу, которая, как оказалось... решения не имеет.

Любая система перспективы вообще содержит искажения «натуры», и потому построение системы, которая могла бы выполнять роль эталона геометрически идеального изображения, невозможно принципиально. Это вовсе не означает недопустимости анализа геометрии в художественном произведении с позиции его согласованности с естественным восприя-

¹ В статье не рассматриваются случаи, когда художник сознательно отказывается от воспроизведения естественного зрительного восприятия.

² См. об этом: Раушенбах Б. В. *Пространственные построения в живописи*. М., 1980.

тием. Просто эталоном должно служить не «идеальное» изображение, а некоторая геометрическая схема зримого пространства.

Проиллюстрируем эти утверждения, опуская подробные математические выкладки³. Художник изобразит комнату шириной 4 м, длиной 6 м и высотой 3 м. Плоскость картины располагается на расстоянии 2 м от комнаты, а глаз художника находится на расстоянии 2 м от холста (т. е. на расстоянии 4 м от комнаты) на высоте 1,5 м, симметрично от-

в виде прямоугольника с отношением сторон 4:3. Дальнейшее же построение осуществим следующим образом. Предположим, что прямоугольник передан правильно, а все остальные размеры будем подбирать так, чтобы они с ним согласовались. Фактические размеры исходного прямоугольника несущественны — ведь с одного и того же негатива можно печатать фотографии различных размеров и тем не менее они будут восприниматься как одно и то же изображение. Если теперь, опираясь на этот прямоугольник, изобраа-

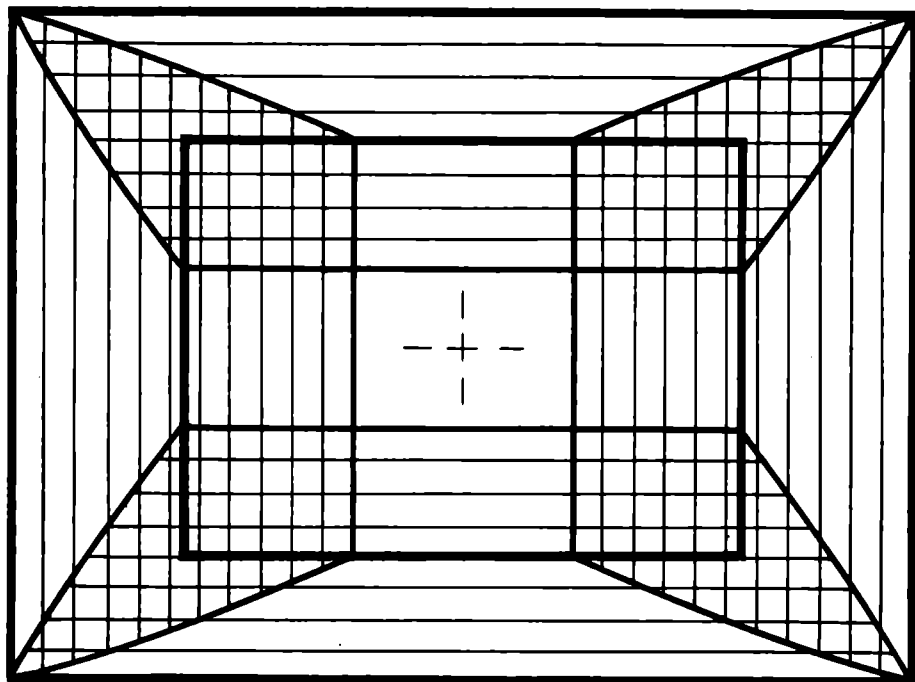


Рис. 1. Схема неискаженного зрительного восприятия интерьера. Вход в интерьер и дальняя от зрителя стена показаны жирными линиями. Изображения пола (потолка) и боковых стен выделены соответственно горизонтальной и вертикальной штриховкой.

носительно боковых стен и направлен по горизонтальной оси, параллельной этим стенам⁴.

Ближайшие к художнику границы пола, стен и потолка можно представить

зять пол, каждую стену и потолок независимо друг от друга и точно такими, какими их видит человек, т. е. построить требуемый (идеальный) эталон, то получится изображение, приведенное на рис. 1.

Подобная геометрическая схема неискаженного зрительного восприятия комнаты показывает, почему невозможно существование идеальной системы перспективы, передающей это восприятие в живописи: точное следование «натуре» приведет к тому, что либо разные предметы (пол, стены и т. д.) будут накладываться друг на друга, либо изображение «порвется», что недопустимо. В зрительном восприятии этого не происходит по той простой причине, что оно объемно. Эта объемность исчезает, когда пространство пере-

³ О математическом аппарате см.: Раушенбах Б. В. Указ. соч. Приложение 8.

⁴ Столь близко расположенный интерьер взят для того, чтобы резко выявить обсуждаемые проблемы. Все выводы сохраняют свое значение и для более удаленных интерьеров, хотя численные значения ошибок и уменьшатся.

дается на плоскости. Наглядное представление об этом можно получить, если попытаться расплести на плоскости объемную бумажную модель: разрывы и наложения обнаружатся незамедлительно.

Художник, конечно, схем не чертит. Но он все время сталкивается (пусть неосознанно) с намеченной выше проблемой, которая неизбежно ставит его перед другой — проблемой выбора способа изображения. Художник выделяет элементы, которые считает наиболее важными и которые поэтому он передает в соответствии со зрительным восприятием. Остальные он вынужден искажать, чтобы избежать в рисунке наложений или разрывов.

Вернемся к задаче изображения интерьера. Оказывается, что здесь возможны самые разные ее решения. Можно правильно выписать пол (соответственно стены будут переданы с искажениями) или боковые стены (соответственно неточно будут переданы пол, потолок и дальняя стена). Можно придумать и другие варианты неизбежных искажений; единственное, чего сделать нельзя, — показать все элементы рисунка без этой неизбежности.

Прежде чем рассмотреть различные варианты передачи интерьера на полотно, условимся о критериях правильности такого изображения. «Правильным» будем называть элемент, который неискаженно передает естественное зрительное восприятие, а «искаженным» тот, в котором можно отметить отклонение от такого восприятия. Три критерия представляют нам наиболее естественными и согласующимися с художественной практикой: степень соблюдения согласованности масштабов при изображении предметов, находящихся на разных планах картины, степень соблюдения правильности в передаче глубины пространства и степень соблюдения подобий предметов. При количественной оценке этих степеней нужно учитывать, что они могут быть разными для разных областей изображения. Поэтому условимся судить о степени правильности изображения в целом по численному значению наибольших ошибок в передаче масштабов, глубины и подобия, имеющих в гипотетическом рисунке (картине).

На рис. 2 дана схема интерьера в некоторой системе перспективы. Степень правильности передачи масштабов по горизонтали (ширине) будем оценивать соотношением отрезков a и A . При этом естественно предположить, что если существуют неточности в передаче масштабов, то наибольшая величина этой неточности будет

получена при сопоставлении самого близкого плана и самого дальнего. Количественно это соотношение (a, A) будет выражаться как отношение длины этих отрезков, причем для взаимной согласованности полученных величин возьмем то из двух возможных отношений, которое меньше или равно единице. Дальнейший ход рассуждений поясним примером.

Предположим, что в естественном зрительном восприятии отношение видимой ширины пола на самом далеком и самом близком расстоянии будет $(a/A)^* =$

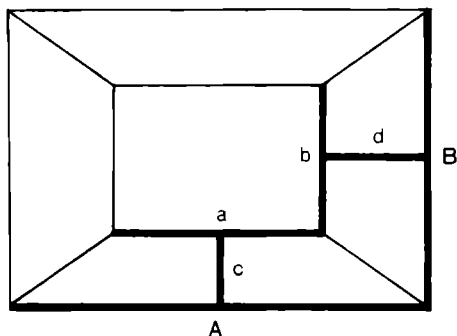


Рис. 2. Схема интерьера в научной системе перспективы, позволяющая вычислить определенные характеристики, использованные при передаче масштабов, глубины и подобий. Отрезками a и A показаны размеры изображений передней и задней стены по горизонтали; B и b — аналогично по вертикали; c и d — передача глубины (по полу и по боковой стене).

$= 0,65$. Художник же изобразил их иначе, у него $(a/A) = 0,5$. Тогда степень правильности соблюдения масштабов можно оценить, взяв отношение $(a/A):(a/A)^* = 0,77$.

Если бы художник избрал другой способ изображения, при котором отношение ширины ближайшего и наиболее удаленного планов точно соответствовало бы естественному зрительному восприятию, то рассматриваемое отношение было бы $(a/A):(a/A)^* = 1$. Следовательно, введенная художником неточность количественно равна $1 - 0,77 = 0,23$, или 23%.

Совершенно аналогично можно оценить степень соблюдения масштабов по вертикали, рассматривая соотношения (b, B) , и при передаче глубины (c, A) (в последней сравниваются две величины: доля видимой ширины A , составляющая видимый размер удаленности дальнего плана c , и это же соотношение, но уже в том виде, каким его преобразовал на своем полотне художник). Аналогично можно

оценить и степень правильности соблюдения подобий на разных планах — соотношениями (А, В) и (а, b). Речь здесь идет о подобии при передаче высоты и ширины некоторого объекта.

Степень правильности передачи масштабов и подобий будет, следовательно, даваться двумя парами чисел. Из каждой такой пары надо выбрать наибольшее число, и по этим двум числам судить о наибольших отклонениях от естественного зрительного восприятия в смысле соблюдения (или нарушения) передачи масштабов и подобия.

Степень правильности передачи глубины в огромном большинстве случаев можно оценить, сопоставляя (с, А) на изображении и в «натуре», поскольку человек почти всегда судит об удаленности, как о перемещении по горизонтальной поверхности (в данном случае по полу). Однако в некоторых, правда, редких, случаях человек судит об удаленности интуитивно, «двигаясь» мысленно не по полу, а по стене. Это происходит, если по каким-то причинам стены привлекают особое внимание зрителя, пол же оказывается для него малоинтересным объектом. В таком случае степень правильности передачи глубины следует оценивать по величинам (d, В). Таким образом, и передача глубины будет оцениваться двумя числами, но выбор того или другого будет связан не с их величиной, а с задачей, поставленной художником.

На рис. 3 показаны различные варианты изображения того же самого интерьера. Здесь устранены наложения, что

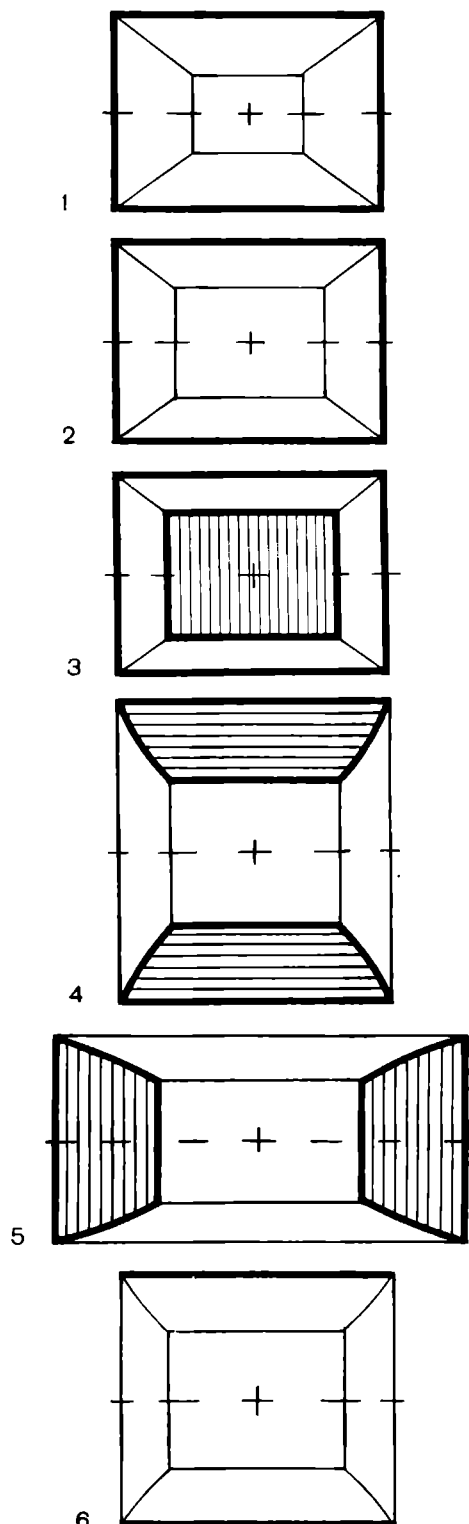


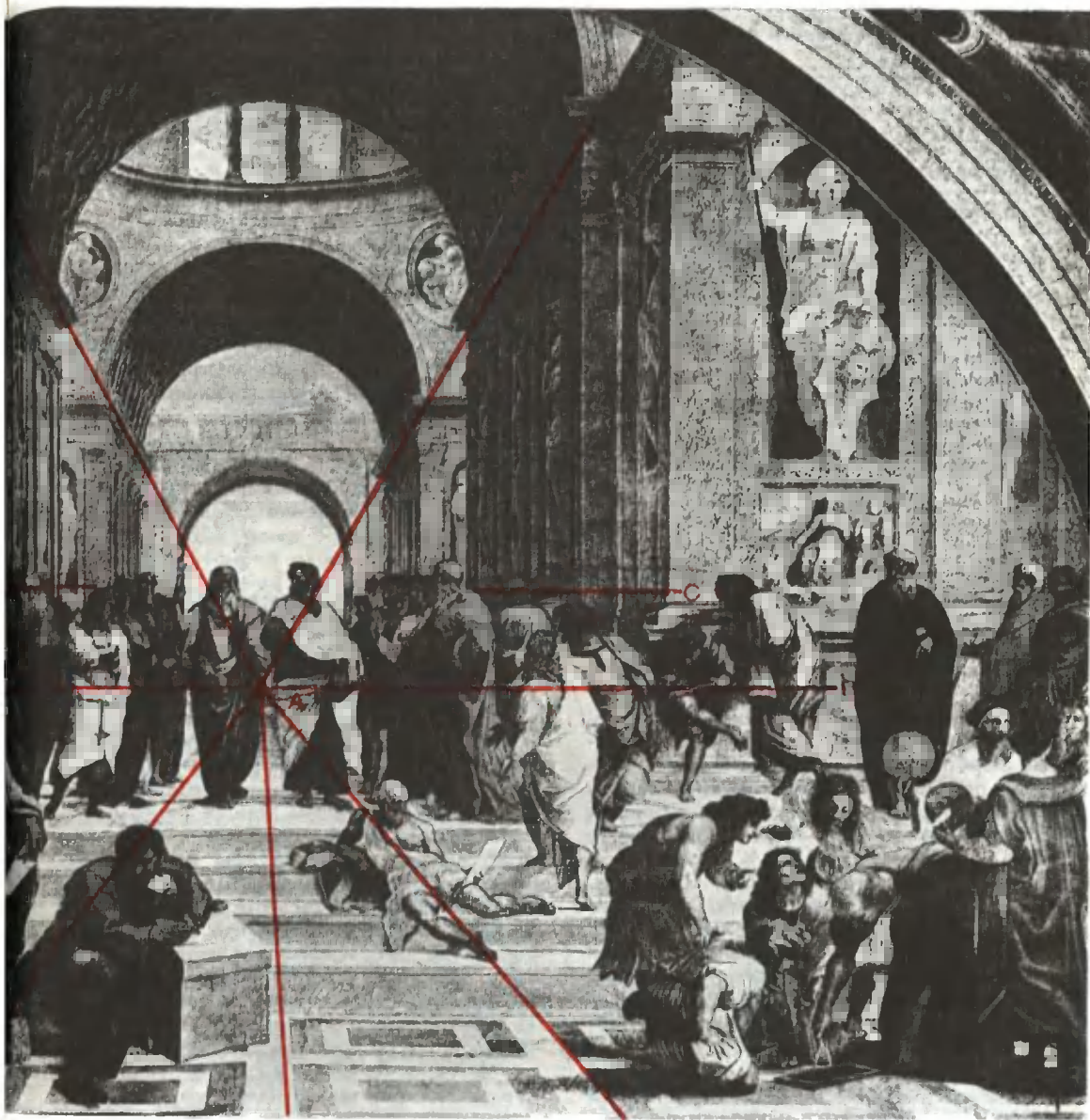
Рис. 3. Различные варианты перспективного изображения интерьера, отличающиеся характером распределения ошибок. Линия горизонта показана штриховой прямой. Прямые, переданные без искажений, очерчены жирной линией, плоскости — заштрихованы. Схемы: 1 — ренессансная система прямой перспективы, передающая подобия предметов без искажений, а масштаб с большими ошибками; 2 — изображение, полученное при попытке сохранить правильную передачу подобий с уменьшением ошибок масштаба; ошибки при передаче глубины в этом случае увеличиваются; 3 — изображение, точно передающее масштаб и подобия, но содержащее значительные ошибки при передаче глубины; 4 — изображение, при котором пол (потолок) полностью соответствует зрительному восприятию; 5 — изображение, при котором естественному зрительному восприятию полностью соответствуют боковые стены; 6 — изображение, полученное в результате равномерного распределения ошибок по трем критериям (масштабу, глубине, подобиям) с целью уменьшения абсолютной величины ошибок.

Рис. 4. Рафаэль. Афинская школа. Горизонталь В—В соответствует изображению архитектурного интерьера; горизонталь С—С имеет аналогичное значение для группы лиц, окружающих Платона и Аристотеля. А — «точка схода» для изображения архитектурного интерьера.



привело к некоторым отступлениям от законов естественного зрительного восприятия. На схеме 1 этого рисунка использована обычная ренессансная перспектива. Соответствующее распределение ошибок приведено в таблице, из которой видно, что ренессансная перспектива передает подобия без искажений, а масштаб — с большими ошибками. Если попытаться сох-

ранить правильную передачу подобий, уменьшив при этом ошибки масштаба, то возрастут ошибки передачи глубины и возникнет изображение, показанное на схеме 2 и количественно охарактеризованное во второй строке таблицы. Если поставить целью точную передачу масштаба, что ведет за собой и соблюдение подобий, то ошибок при передаче глубины будет



еще больше (схема 3). Схема 4 представляет изображение, в котором в полном соответствии со зрительным восприятием переданы пол и потолок, а схема 5 — боковые стены. Однако при этом встречаются ошибки в масштабе и подобиях предметов. (Из таблицы видно, как в этих случаях распределились ошибки.) Наконец, в схеме 6 представлен случай, когда —

с целью уменьшения абсолютных величин ошибок — они более равномерно распределены по трем рассматриваемым критериям.

Подчеркнем: приведенные схемы — не плод произвольного сочетания изображаемых элементов. Все они получены на основании строгой теории, в которой соблюдены требования, предъявляемые к ме-

**Таблица ошибок
различных вариантов научной системы перспективы**

Вариант системы перспектив	Ошибки						
	Масштаб		Глубина		Подобие		
1 Ренессансная	37	37	21	—	0	0	58%
2 Соблюдение подобий	22	22	33	—	0	0	55%
3 Соблюдение масштабов	0	0	52	—	0	0	52%
4 Неискаженная передача пола (потолка)	0	22	0	—	33	15	55%
5 Неискаженная передача боковых стен	22	0	—	0	33	15	55%
6 Равномерное распределение ошибок	0	12	26	—	20	8	58%
7 ...	...	...	...	...	...	...	55%

Суммируемые величины выделены.

тоду изображения, чтобы он стал системой перспективы. Все они основываются только на закономерностях естественного зрительного восприятия и геометрии, т. е. научны.

Оценим суммарную ошибку изображения путем сложения наибольших величин ошибок в передаче масштаба, глубины и подобия (соответствующие суммы приведены в последнем столбце таблицы). Во всех случаях эта суммарная ошибка равна 55% с точностью $\pm 3\%$, вполне естественной для столь грубых расчетов. В этом результате как бы проглядывает своеобразный «закон сохранения ошибок». Переходя от одного варианта научной перспективы, под которой подразумеваются все варианты передачи естественного зрительного восприятия, к другому, можно перемещать ошибки с одного элемента на другой, но нельзя уменьшить суммарное значение ошибки. В последней строке таблицы всякие новые варианты изображения выражены многоточиями. Тем не менее, какой ни изобрази — суммарная ошибка будет равна примерно 55%.

Сказанное выше не означает, что все мыслимые варианты научной перспективы однообразны. Схемы рис. 3 с одной и той же суммарной ошибкой передают один и тот же интерьер (в этом смысле они равноценны). Однако по-разному проставленные акценты дают весьма различные изображения. В зависимости от художественной задачи произведения более под-

ходящим может оказаться то один, то другой вариант.

Пусть, например, художника не устраивает классическая ренессансная система перспективы, поскольку в ней сильно искажаются соотношения в масштабе изображаемых на разных планах предметов. Действительно, из таблицы и схем рис. 3 видно, что в этом смысле такой вариант — наихудший. Решив точно передать в своей картине относительный масштаб вещей, художник тем самым фактически станет работать в системе перспективы, приведенной в третьей строке таблицы, — наилучшем варианте системы, поскольку в нем искажается лишь один из трех элементов — передача глубины. Но в силу «закона сохранения ошибок» именно глубина будет ослаблена максимально. Искусствоведы, привыкшие считать построения, основанные на ренессансной системе перспективы, идеально точными, склонны говорить о том, что художник в рассматриваемом варианте изображения «уплощает» передачу пространства, следует некоторому «плоскостному началу». Думается, это не всегда так. Лучше говорить о том, что художник отходит от ренессансной перспективы для более точной передачи масштабов, а «уплощение» получается само собой, возможно, вопреки воле художника и к его досаде.

Теперь предположим, что художнику одинаково важно передать и масштаб и

глубину. Как видно из таблицы (строки 4 и 5), это возможно лишь частично — в таком случае будет не искажен только пол (ошибки «перейдут» на боковые стены) или же боковые стены (ошибки «перейдут» на изображение пола). Конечно, говоря «пол» и «стена», мы имеем в виду любые протяженности «по ширине» и «по высоте». Рассмотрим обе эти возможности.

В случае, если художник предпочтет правильную передачу пола, то с позиций ренессансной перспективы следовало бы сказать, что художник писал пол и потолок с двух точек зрения: когда писал пол, то повышал точку зрения, а когда писал потолок — понижал ее, поскольку соответствующие «точки схода» (на схеме 1 рис. 5 они даны пересечением пунктирных прямых и обозначены литерой В) легли выше или ниже линии горизонта. На самом же деле никакой множественности точек зрения здесь нет, все дано с единственной точки зрения, общей для всех представленных на рис. 5 схем и обозначенной главной точкой картины — А. Мнимое «расщепление» зрительной позиции произошло по той причине, что вариант научной системы перспективы, неискаженно передающий горизонтальные поверхности («пол»), рассматривается с позиций ренессансной системы перспективы, не имеющей к первому никакого отношения. Поэтому всякого рода рассуждения, что, к примеру, у Паоло Веронезе в картине «Пир у Левита» наличествуют две точки зрения (и аналогичные формальные характеристики других произведений искусства), как правило, лишены смысла.

Сказанное не означает, что художник не может пользоваться точками зрения, смещенными по вертикали. Так, у Рафаэля в «Афинской школе» интерьер написан в ренессансной системе перспективы с одной точки зрения, представленной на рис. 4 точкой схода А. Такой выбор вполне естествен, поскольку ренессансный вариант перспективной системы достаточно хорошо передает глубину (см. таблицу), а Рафаэлю было важно передать движение Аристотеля и Платона из глубокого пространства на зрителя. В то же время группа людей, окружающих классиков философии, написана с более высокой точки зрения: их головы расположены на одной горизонтали (отклонения от нее — следствие разницы в росте), несмотря на то что сами люди размещены не фронтально, а «в глубину». Если бы Рафаэль написал их с той же точки зрения, что и архитектурный интерьер, то эта группа

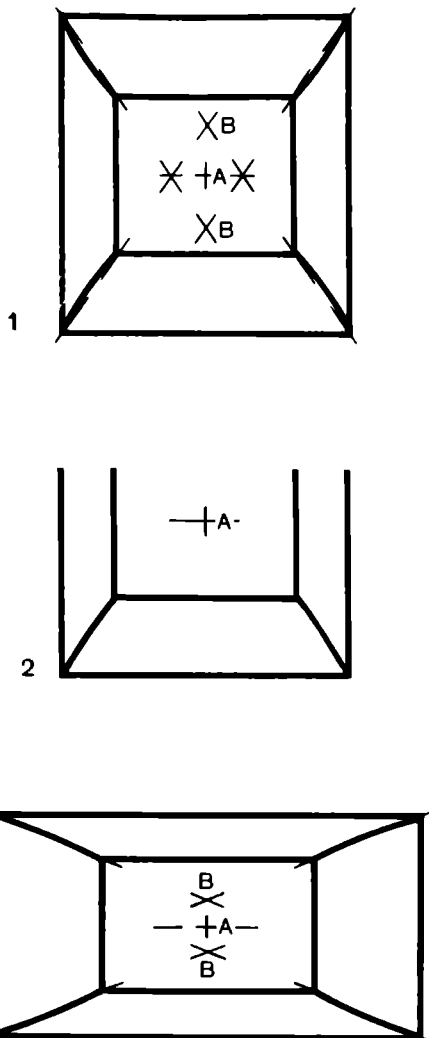


Рис. 5. Схемы, неискаженно передающие горизонтальные плоскости (пол, потолок) и боковые стены (переданы жирными линиями): 1 — неискаженная передача пола. Точка А — главная для схем, представленных на этом рисунке, — это точка, соответствующая фактическому положению точки зрения художника. Точки В — формальные «точки схода», обнаруженные при пересечении штриховых прямых, — предполагаемые положения глаза художника в момент, когда он пишет пол (взгляд сверху) и потолок (взгляд снизу), найденные по правилам ренессансной системы перспективы (см. также схему 3); 2 — неискаженное изображение пола; при этом художник, желая избавиться от ошибок, отказывается изображать некоторые элементы (в данном случае потолок), поскольку ошибки смещаются на боковые стены и делают их излишне высокими; 3 — неискаженная передача вертикальных плоскостей, влекущая за собой ошибки в изображении пола и потолка.



Рис. 6. Ю. Пименов. Перед выходом на сцену. Формальная «точка схода» досок, образующих пол, находится выше верхнего обреза картины, в то время как горизонт лишь слегка выше головы антрисы, что видно по изображению верха левой створки зеркала. Отказ художника писать потолок в известной степени «маскирует» отклонения от естественного зрительного восприятия.



Рис. 7. О. Филатов. Песня. Глубина передается здесь не столько изображением потолка, сколько изображением «боковой стены», определяемой передним столбом и задней стеной.

выглядела бы «почетным караулом» вдоль которого шествуют философы, у художника же присутствующие воспринимаются внимательными слушателями спора.

Вернемся к проблеме изображения интерьера по схеме 4 рис. 3. Значительные искажения подобия, предполагаемые ею («вход» в интерьер превратился, например, из прямоугольника, вытянутого по горизонтали, в прямоугольник, вытянутый по вертикали), могут поставить художника перед сложной задачей. Как уже не раз повторялось, он не в силах «изгнать» из картины ошибки, но зато у него есть возможность не изображать тех элементов, на которые смещаются ошибки. В данном случае он вправе отказаться от изображения потолка и верхних частей стен, как это показано на схеме 2 рис. 5, и тем самым «замаскировать» неизбежные в картине геометрические искажения зрительного восприятия. Тогда суммарное значение содержащихся в картине ошибок станет менее 55%.

В качестве примера подобного художественного решения возьмем полотно Ю. Пименова «Перед выходом на сцену». В этой картине, как и следует, формальная «точка схода» досок, образующих пол (для того, чтобы обнаружить эту точку, нужно мысленно продолжить линии досок), находится существенно выше верхнего обреза картины. На самом же деле горизонт лишь слегка выше головы актрисы (это видно по изображению верха левой створки зеркала — мысленно эту верхнюю границу зеркала тоже можно продолжить через всю плоскость картины).

Если художник предпочтет неискаженно передать вертикальные плоскости (боковые стены), то он будет следовать схеме 5 на рис. 3 и схеме 3 на рис. 5. Находясь под гипнотическим воздействием идеи о безгрешности ренессансной системы перспективы, снова можно бы сказать, что художник использовал две точки зрения и писал пол, присев на корточки, а потолок — забравшись на стремянку (точки В). Но и здесь фактически наличествует одна точка зрения, представляемая точкой А.

В качестве примера рассмотрим полотно О. Филатчева «Песня». Интересно отметить, что глубина (удаленность задней стены) передается, как и следует из схемы, не столько изображением потолка, сколько «боковой стены», а точнее — границей интерьера, определяемой передним столбом и дальней стеной. Художник избрал этот вариант изображения, вероят-

но, для того, чтобы передать ощущение простора, в котором льется песня.

Примеры эти показывают, что многовариантность системы научной перспективы, учитывающей работу мозга при зрительном восприятии, позволяет глубже понять формальные особенности геометрической передачи пространства на плоскости картины. Они хорошо иллюстрируют также невозможность существования «идеальной» системы перспективы: любые варианты научной системы всегда содержат одно и то же суммарное количество ошибок. Поэтому методически совершенно неверно при рассмотрении истории искусства судить о разных способах передачи пространства, опираясь лишь на вариант ренессансной системы как на непогрешимый эталон. По-видимому, при искусствоведческом анализе изображение следует сравнивать не с отражением природы в кривом зеркале упомянутой системы, а со зрительным восприятием природы (см. рис. 1), что мы и попытались доказать, опираясь на геометрические построения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Раушенбах Б. В. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПОСТРОЕНИЯ В ДРЕВНЕРУССКОЙ ЖИВОПИСИ. М.: Наука, 1974.

Раушенбах Б. В. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПОСТРОЕНИЯ В ЖИВОПИСИ. Очерк основных методов. М.: Наука, 1980.

Д. А. Сабинин и развитие физиологии растений

В. Н. Жолкевич,

доктор биологических наук

Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева

АН СССР

Москва

Влияние идей профессора Московского университета Дмитрия Анатольевича Сабинина на развитие физиологии растений до сих пор ощущается так, словно он не ушел из жизни более 30 лет тому назад, а все еще находится среди нас. Под влиянием этих идей начали свои исследования многие физиологи, пришедшие в науку уже после смерти Сабинина и знавшие его только по литературе. Причина долголетия идей Сабинина заключается в том, что поистине колоссальная эрудиция в сочетании с редкой наблюдательностью и поразительным умением анализировать факты позволяла ему видеть значительно дальше современников, предугадывать основные пути развития фитофизиологии и решения целого ряда ее узловых проблем на много лет вперед. Сплошь и рядом приходится удивляться точности сделанных Сабининым выводов, которые в свое время казались недостаточным обоснованными или даже просто фантастическими. Но последующий ход развития науки показал, что мысль Сабинина шла по правильному пути. Все это побуждает нас вновь и вновь возвращаться к анализу творчества этого выдающегося физиолога растений и оставленного им научного наследия.

Дмитрий Анатольевич Сабинин родился 17 (29) ноября 1889 г. в Петербурге. По окончании гимназии поступил в Петербургский университет. Будучи студентом, стал работать на кафедре физиологии растений под руководством В. И. Палладина, известного своими исследованиями по дыханию растений. Именно с изучения дыхания и начал Сабинин научную деятельность. В 1913 г. по окончании университета он был оставлен на кафедре. За годы пребывания в университете Сабинин прошел отличную школу, сотрудничая с такими выдающимися физиологами, как В. И. Палладин и А. А. Рихтер. Их влияние он во многом обязан столь удачно сочетавшимися в нем чертами ученого:

романтизмом, страстностью, способностью к широким обобщениям и научным предвидениям, с одной стороны, точностью эксперимента, критическим подходом к методике и результатам исследований, с другой.

В 1918 г. А. А. Рихтер пригласил Сабинина во вновь организованный Пермский университет, который создавался в значительной степени усилиями молодых специалистов из Петрограда и Москвы. Сабинин принял приглашение и переехал в Пермь, где проработал до 1929 г. сначала как ассистент, затем как доцент, а с 1924 г. — как профессор и заведующий кафедрой физиологии растений. В Перми Сабинин начал свои классические эксперименты по физиологии корневой системы, а также по механизму транспорта элементов минерального питания. Здесь он опубликовал свою первую монографию «О корневой системе как осмотическом аппарате» (1925).

В 1929—1931 гг. Сабинин возглавляет отдел физиологии и микробиологии Института хлопководства в Средней Азии. В эти годы он занимается вопросами применения минеральных удобрений. Нельзя не отметить, что в течение всей своей научной деятельности Сабинин неизменно связывал теоретические исследования с практическими запросами сельского хозяйства.

В 1932 г. А. А. Рихтер, возглавлявший кафедру физиологии растений Московского университета, после избрания в академики переехал в Ленинград, а кафедру предложил принять Сабинину — своему любимому ученику. Переехав в Москву, Сабинин совмещал заведование кафедрой МГУ с работой заведующего лабораторией минерального питания Всесоюзного научно-исследовательского института удобрений, агротехники и агропочвоведения (1932—1938) и заведующего лабораторией минерального питания Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева



ДМИТРИЯ АНАТОЛЬЕВИЧ САБИНИН
17 [29] ноября 1889 г.— 22 апреля 1951 г.
Фото 1947 г.

АН СССР (1938—1941). В последний год работы в университете Сабинин был также директором университетского Ботанического сада.

Московский период оказался наиболее плодотворным в деятельности Сабинина. Руководимые им коллективы широким фронтом развернули исследования в нескольких направлениях: выяснение роли корней в жизнедеятельности растений, изучение поглощения и превращений элементов минерального питания, физиологии клетки, взаимосвязи дыхания и водоудерживающей способности растительных тканей. Были начаты оригинальные работы по росту и развитию растений, в том числе по выяснению роли нуклеиновых кислот в процессах роста и биосинтеза, по изучению роста клеток в фазе растяжения и природы действия ростовых гормонов — ауксинов, по физиологии покоя, определе-

нию пола у растений и ряду других вопросов. В это время Сабинин написал три монографии: «Минеральное питание растений» (1940), удостоенную премии им. К. А. Тимирязева АН СССР, «О значении корневой системы в жизнедеятельности растений», доложенную на Тимирязевском чтении в 1948 г., и «Основы физиологии растений». Последняя книга была написана как учебник для студентов университетов; в ней Сабинин обобщил опыт своей многолетней педагогической практики. Но труд этот увидел свет лишь после смерти автора в виде двух отдельных монографий — «Физиологические основы питания растений» (1955) и «Физиология развития растений» (1963).

Сабинин очень любил преподавание. Читая на протяжении 25 лет общий курс физиологии растений и в течение многих лет специальные курсы, он тем не

менее самым тщательным образом готовился к каждой лекции. Любая из них отличалась от ранее прочитанных на ту же тему. Сабинин вдохновенно развертывал перед аудиторией сложную картину развития знаний по излагаемому вопросу, рассказывал об ошибках и неудачах отдельных исследователей, о заблуждениях и противоречиях, неизменно заканчивая изложение новостями науки. Такие лекции приучали студентов творчески подходить к изучаемому предмету. Теоретические семинары, которым Сабинин придавал большое значение, были прекрасной школой для всех участников.

Будучи требовательным педагогом, Сабинин, однако, никогда не стремился к мелочной опеке своих учеников, даже самых младших. Он не боялся предоставить самостоятельность начинающему исследователю. Незаметно направляя своего ученика на верный путь, он радовался малейшему проявлению его собственной инициативы. Обнаружив ошибку, ограничивался скупым ироническим замечанием и подтруниванием, что действовало сильнее выговора и нравоучения.

Более 20 лет ближайшим сотрудником Сабинина сначала в Пермском, а затем в Московском университетах, была доцент Ольга Михайловна Трубецкова (1902—1973), с именем которой неразрывно связана вся научная и педагогическая деятельность Сабинина. Талантливый экспериментатор и педагог, строгий и тонкий методист, человек редких душевных качеств, Трубецкова очень много сделала для экспериментального обоснования новаторских идей Сабинина, для постановки преподавания и организации научно-исследовательской работы на кафедре физиологии растений МГУ. В значительной степени благодаря ее усилиям удалось по-смертно издать уже упоминавшиеся монографии Сабинина, а также его избранные труды по минеральному питанию растений (1971).

Последние два года жизни Сабинин в силу сложившихся обстоятельств работал на Черноморской научно-исследовательской станции Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, где он занимался физиологией роста диатомовых водорослей.

*

Как уже говорилось выше, мы часто вспоминаем о Сабинине прежде всего благодаря его редкому дару научного предвидения, умению замечать явления в самом

их зародыше, причем не только замечать, но и предугадывать их сущность.

Так, проведенный под руководством и при непосредственном участии Сабинина физиологический анализ природы корневого давления послужил основанием для пересмотра господствовавшей в то время концепции о пассивном характере поступления в растение растворенных веществ. Сабинин противопоставил этой концепции представление о поглощении элементов минерального питания как об активном физиологическом процессе. Не ограничившись этим и критически проанализировав литературные данные по флоэмному транспорту, Сабинин решительно поддержал немногочисленных тогда сторонников концепции активного транспорта органических веществ в растении. Как известно, в настоящее время проблемы активного поглощения и транспорта минеральных и органических веществ успешно разрабатываются во всем мире.

Именно Сабинин впервые попытался глубоко и всесторонне обрисовать роль корневой системы в жизнедеятельности растений. В начале 20-х годов, когда Сабинин только приступал к своей работе, корень рассматривали всего-навсего как орган, через который в растение поступают вода и растворенные в ней вещества. За сравнительно короткий срок Сабинин обосновал представление о корне как органе с высокой синтетической активностью, участвующем не только в поглощении, но и в превращении веществ. Согласно этой концепции, пользующейся ныне всеобщим признанием, в корне в результате аэробной переработки поступающих из листьев продуктов фотосинтеза (ассимилятов), во-первых, синтезируются разнообразные вещества, потребляемые при росте и функционировании данного органа, и, во-вторых, образуется ряд соединений, необходимых для роста и развития побегов, причем некоторые из этих соединений весьма специфичны. Речь идет об образовании физиологически высокоактивных веществ — гормонов роста. Суммировав отдельные разрозненные факты, Сабинин выдвинул смелую гипотезу о существовании в растении, помимо ауксина — единственно известного в то время гормона роста, — также и других ростовых гормонов, производных пуриновых оснований, образующихся в корневых системах. Фактически, Сабинин предвосхитил открытие цитокинов. В настоящее время эта гипотеза полностью подтверждена. Доказано, что особая группа фитогормонов, регулирующих

рост и развитие побегов,— цитокинины — синтезируются в корневых системах, откуда с восходящим током транспортируются по всему растению.

Проблемы роста и развития растений постоянно находились в центре внимания Сабинина, особенно в последний период жизни. Рост он рассматривал как интегрирующий результат сложной цепи взаимосвязанных и взаимообусловленных физиологических, биохимических, биофизических и морфологических изменений. Именно поэтому он категорически не соглашался с теми авторами, которые при объяснении механизма одной из характерных фаз роста растительных клеток, растяжения, игнорировали роль живого содержимого клетки — протопласта. Механизм растяжения эти авторы сводили к пассивному засасыванию в клетку воды благодаря вызванному ауксином размягчению клеточной оболочки. Они полагали, что при этом увеличивается пластическая растяжимость последней и, как следствие, уменьшается давление, оказываемое натянутой оболочкой на клеточное содержимое. В результате водопоглощающая способность клетки — ее сосущая сила — возрастает, вода устремляется в клетку, и тем самым объем клетки необратимо увеличивается. В противоположность подобному упрощенному толкованию Сабинин утверждал, что рост вообще и рост в фазе растяжения, в частности, невозможен без активного участия главной составной части клетки — протопласта; изменения же клеточной оболочки — лишь следствие предшествующих изменений в протопласте, и ставить их на первое место при рассмотрении механизма роста в фазе растяжения никоим образом нельзя.

Безупречно методически выполненные работы подтвердили, что Сабинин был прав. Действительно, с переходом к растяжению активируется синтетическая деятельность клетки, в том числе синтез белка и других важнейших соединений; перестраивается структура протопласта, о чем свидетельствует, например, уменьшение вязкости цитоплазмы; началу растяжения предшествует повышение уровня внутриклеточного энергетического обмена: дыхательный газообмен интенсифицируется, а энергетическая эффективность дыхания возрастает, причем сопряжение окисления с фосфорилированием увеличивается.

Сабинин первым из фитофизиологов нашей страны указал на возможность участия веществ-ингибиторов (антиметаболи-

тов) в регуляции роста растений. По его мнению, тормозящим рост действием могут обладать продукты превращений фитогормонов, близкие к ним по своей структуре. Подобное предположение Сабинин высказал в тот период, когда концепция биохимического антагонизма, ныне широко разрабатываемая, только зарождалась.

Еще в 1940 г. Сабинин предсказал, что места скопления нуклеиновых кислот — это очаги белкового синтеза в клетке и что возрастные изменения скорости синтетических и ростовых процессов отражают соответствующие изменения в состоянии нуклеиновых кислот. Концепция о ведущей роли нуклеиновых кислот в процессах биосинтеза и роста, общепринятая сейчас, 40 лет назад явилась новой и неожиданной. Сабинин привлек ее для объяснения ритмичности видимого роста, обусловленной, как он полагал, несбалансированностью синтеза нуклеиновых кислот и других клеточных компонентов. Впоследствии действительно была выявлена связь ритмичности роста с дифференциальной активацией генома. Теперь существование автономных ритмов роста представляется бесспорным, так же как бесспорна роль нуклеиновых кислот в биосинтезе белка.

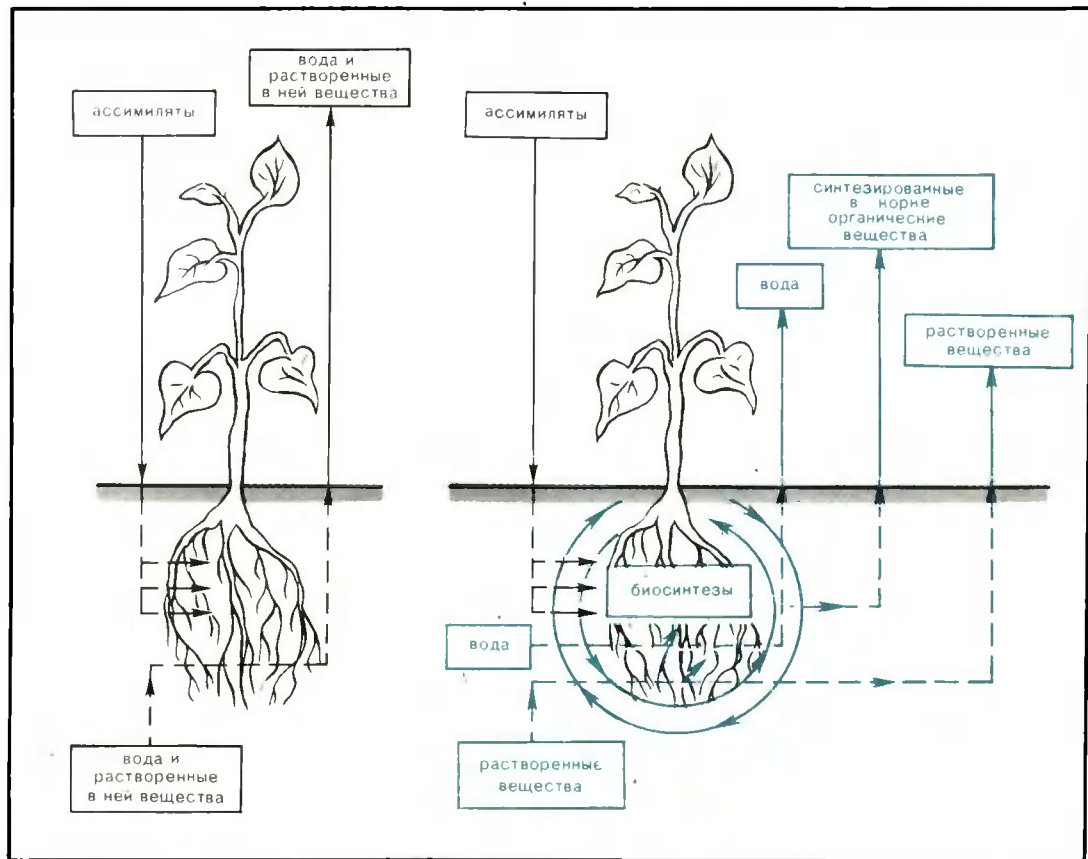
Детально проанализировав результаты опытов, в которых путем дифференциального центрифугирования были выделены субмикроскопические нуклеопротеидные гранулы (речь идет о частицах, которые в 1958 г. были названы Р. Робертсом рибосомами), Сабинин уже в 1947 г. предсказал их функции. Он указывал, что значение этих субмикроскопических гранул, очевидно, очень велико, ибо в них сосредоточены запасы плазматической нуклеиновой кислоты, и если принять положение, что скопление нуклеиновых кислот — это очаги синтеза белковых веществ в клетке, открытие данных гранул знаменует начало нового периода в клеточной физиологии.

Сопоставив данные о функциональной зависимости основных показателей водного режима клетки: сосущей силы (S) — величины, характеризующей скорость поглощения клеткой воды, осмотического давления клеточного сока (P) и тургорного (гидростатического) давления (T), Сабинин пришел к выводу, что общепринятое в то время уравнение сосущей силы растительной клетки $S=P-T$ необходимо трактовать шире, чем это делалось. Он предсказал возможность более широкой амплитуды значений S , а именно: допускать, во-первых, значения S , превышающие P , и, во-вторых,

отрицательные значения S . Сабинин полагал, что превышение сосущей силы над осмотическим давлением возможно за счет отрицательного тургорного давления, когда вышеупомянутое уравнение сосущей силы приобретает следующий вид: $S=P-(-T)$, или $S=P+T$. Отрицательная сосущая сила возможна, когда $T>P$; в этом случае клетка не поглощает воду, а выделяет ее.

В дальнейшем экспериментально было показано, что у ряда растений, обитающих в сухих местах, при засухе по мере потери листьями воды клеточные обо-

ся его растянуть. Следовательно, тургорное давление становится отрицательным, а сосущая сила превышает осмотическое давление¹. С другой стороны, установлено, что тургорное давление может быть больше осмотического, например при так называемом тургорном движении растений, когда вследствие сокращения клеток часть клеточного сока выбрасывается в межклеточное пространство. Движения такого рода особенно хорошо изучены у мимозы, в которой содержится сократительный белок, подобный актомиозину мышц живот-



Роль корневой системы в жизнедеятельности растений. Левая половина схемы иллюстрирует эту роль так, как ее представляли, когда Сабинин только приступал к своей работе; правая половина — как эта роль вырисовывается, исходя из представлений Сабинина. Цветом выделены основные положения, разработанные Сабининым.

лочки втягиваются вслед за протопластом, образуя многочисленные складки. В этом случае клеточная оболочка не только не давит на протопласт, но, наоборот, стремится

них. Полагают, что этот белок непосредственно участвует в сокращении клеток, при котором тургорное давление превышает осмотическое, вследствие чего сосущая сила становится отрицательной величиной и часть клеточного сока выталкивается в межклеточное пространство. По последним данным, тургорный механизм, регулирую-

¹ Тюрина М. М. — Бот. ж., 1957, т. 42, № 7, с. 1035.

щий объем клеток, свойствен не только отдельным видам, обладающим повышенной чувствительностью и подвижностью, но имеет достаточно широкое распространение, являясь составной частью механизма транспорта воды в растениях.

В своих лекциях и выступлениях на семинарах Сабинин подчеркивал зависимость сосущей силы растительных клеток от процессов жизнедеятельности, и прежде всего от дыхания. В последующих работах справедливость этого положения была экспериментально подтверждена учениками Сабинина².

Хотя сам Сабинин не занимался энергетикой дыхания растений, тем не менее и в этой области он сумел найти выход из, казалось бы, безнадежного положения. Дело в том, что попытки ряда авторов составить энергетический баланс при дыхании — процессе, обычно рассматривавшемся в качестве основного источника энергии, — привели к неожиданному и обескураживающему выводу: почти вся освобождаемая в ходе дыхания энергия рассеивается в окружающей среде в виде теплоты и, следовательно, не приносит растению никакой пользы. Для составления такого баланса сравнивали рассчитанное по газообмену количество освобожденной энергии E с количеством выделенной в окружающую среду теплоты Q . Оказалось, что эти величины примерно равны. Поскольку тогда полагали, что вся выделяемая живой тканью теплота генерируется исключительно в процессе дыхания, пришлось заключить, что освобождаемая при дыхании энергия практически не аккумулируется в клетках. Естественно, сразу же появились сомнения в том, имеет ли вообще дыхание какое-нибудь положительное значение, и не нужно ли рассматривать его просто как путь деградации энергии, как процесс, идущий «на холостом ходу». Сабинин правильно подметил, что авторы, составлявшие энергетический баланс при дыхании, работали с объектами, уже закончившими свой рост. Между тем у быстрорастущих объектов можно было бы ожидать совершенно иного соотношения между освобожденной энергией и выделенной теплотой, а именно E должно превалять Q .

Опыты, проведенные уже в 60-х годах, подтвердили, что E равно Q только у тканей, закончивших рост, у растущих же клеток E явно превышает Q . Вместе с тем оказалось, что, в зависимости от физио-

логического состояния объекта, даже и у закончивших рост тканей соотношение E и Q варьирует в известных пределах. Было, далее, показано, что отнюдь не вся выделяемая живыми тканями теплота генерируется непосредственно в процессе одновременно идущего дыхания, так как дыхание и тепловыделение — это два относительно независимых друг от друга процесса. В настоящее время не вызывает сомнений, что выделяемая живыми тканями теплота имеет сложное происхождение. Теплота, генерируемая непосредственно в ходе дыхания, составляет только часть суммарной теплопродукции (она и называется первичной и представляет собой неаккумулированную в клетке часть освобожденной при дыхании энергии). Помимо первичной, существует вторичная теплота, источниками которой служат различные диссипативные внутриклеточные процессы. Следовательно, примерное равенство количества выделенной теплоты и количества освобожденной в процессе дыхания энергии у закончивших рост объектов объясняется вовсе не тем, что освобождаемая при дыхании энергия совсем не аккумулируется в клетках; подобное соотношение между E и Q может лишь свидетельствовать о сбалансированности всех в совокупности физиологических процессов, внешним выражением которой является постоянство веса и размеров закончивших рост объектов.

Сабинин неизменно проявлял повышенный интерес к структурной и функциональной организации протопласта растительной клетки. В частности, он высказал мысль о структурообразующей роли низкомолекулярных соединений (органических кислот, аминокислот, жирных кислот). При этом он полагал, что внедрение этих соединений между белковыми макромолекулами и их взаимодействие с полярными группами последних может привести — в зависимости от длины внедряющейся молекулы — к сближению или, напротив, к увеличению расстояния между молекулами белков. Указанное предположение было затем экспериментально подтверждено³.

Первым из отечественных фитофизиологов Сабинин увидел в расшифровке структуры и функций мембран один из кардинальных путей изучения структуры и функций протопласта в целом, равно как выяснения механизмов поступления веществ в клетку. В 30-х годах за рубежом

² Семизатова О. А. — Бот. ж., 1950, т. 35, № 5, с. 461.

³ Белоусова А. К. — Бот. ж., 1957, т. 42, № 7, с. 1011.

появились публикации, посвященные строению и свойствам поверхностных пограничных образований протопласта — плазмалеммы и тонопласта. Сабинин сопоставил результаты этих публикаций с обнаруженными физиками особенностями строения пленок, возникающих на границе двух несмешивающихся жидкостей, например воды и некоторых высокомолекулярных соединений. Обратив внимание на эластичность и полярность, отражающие внутреннюю структуру указанных пограничных пленок, он заключил, что данные пленки обладают свойствами полупроницаемых мембран, т. е. именно теми свойствами, которые столь характерны для плазмалеммы и тонопласта, и, следовательно, изучение пограничных пленок в жидкостях может помочь при изучении структуры и свойств биологических мембранных систем.

Подобные соображения были высказаны Сабининым еще в 1940 г. в его монографии «Минеральное питание растений», первая глава которой целиком посвящена организации протопласта растительной клетки, причем главное внимание уделено особенностям пограничных слоев протопласта. Уже в начале 40-х годов в своих лекциях Сабинин приводил различные схемы строения биологических мембран (в частности, мембран хлоропластов) и мембранного транспорта веществ, заимствованные из последних публикаций и критически им переосмысленные. Таким образом, Сабинин может по праву считаться пионером в области исследования клеточных мембран в нашей стране. Ныне эта область исследований составляет один из важнейших разделов биологии.

Обсуждая проблему спецификации организации и функционирования внутриклеточных структур, Сабинин подчеркивал их динамичность и решающее значение непрерывного притока энергии для поддержания как отдельных надмолекулярных образований, так и прижизненной структуры всего протопласта в целом. Ему особенно импонировало известное определение А. Г. Гурвича: «структура протоплазмы — это процесс». Хотя исследования в данном направлении не получили еще должного развития, необходимость притока энергии для поддержания структуры живой клетки и лабильность этой структуры не вызывают в настоящее время сомнений.

Из приведенных примеров нетрудно заметить, что Сабинин не был специалистом лишь в какой-то частной области физиологии, например специалистом преимущественно по минеральному питанию

растений, как это иногда представляют. Он был энциклопедически образованным биологом, круг интересов которого казался необъятным, а эрудиция и дар научного предвидения — феноменальными. Мысль Сабинина работала непрерывно. Он все время находился в движении, в поисках новых фактов, новых выходов, новых решений. Особенностями его трудов были не только их критическая направленность и насыщенность передовыми идеями; эти труды вместе с тем представляли образцы предельно внимательного отношения к фактам и их предельно скрупулезного анализа. Они воспитывали у молодежи непримиримость к догмам, звали к смелым, но не отрывающимся от реальной действительности гипотезам, помогали не утратить самого драгоценного — чувства нового в науке.

•

В заключение — несколько слов о Дмитрии Анатольевиче Сабинине уже не как об ученом, но просто как о человеке. В повседневной жизни Сабинин был человеком совершенно безыскусственным, искренним, непосредственным, не особенно практичным, излишне доверчивым и излишне быстро увлекающимся, порой по-детски беспомощным; человеком очень жизнерадостным, темпераментным, любившим шутить и даже дурачиться. В общении с людьми он был необычайно прост и демократичен; со студентами держал себя как с равными. Особенно хорошо и свободно он чувствовал себя среди молодежи. Вместе со студентами и аспирантами ходил на каток, причем предпочитал попадать на территорию катка не через общедоступный вход, а через забор — так было интереснее. У него не было и тени намека на высокомерие, апломб, позерство и прочие подобные атрибуты иных маститых ученых. Сабинин любил литературу и музыку, часто бывал в консерватории, был заядлым спортсменом и путешественником. Отлично управлял яхтой и гордился тем, что был членом Московского яхтклуба, ничуть не меньше, чем профессорским званием.

•

Влияние, которое оказал Сабинин на последующее развитие физиологии растений, трудно переоценить. В наше время темпы научного прогресса непрерывно возрастают. Несмотря на это, работы Сабинина, умевшего смотреть далеко вперед, вероятно, еще долго не потеряют интереса и будут служить идейным источником для новых поколений фитофизиологов.

Космические исследования

Запуск «Венеры-15» и «Венеры-16»

2 и 7 июня 1983 г. в Советском Союзе были осуществлены запуски автоматических межпланетных станций «Венера-15» и «Венера-16». Цель запуска — продолжение научных исследований поверхности и атмосферы планеты Венера.

Станции выведены на межпланетные траектории с промежуточных орбит искусственных спутников Земли. По данным баллистических измерений, параметры траекторий полета близки к расчетным; станции должны достигнуть ок-

рестностей Венеры в начале октября 1983 г. и перейти затем на орбиты искусственных спутников Венеры. С этих орбит будут проведены комплексные исследования планеты.

Среди приборов, установленных на борту станции, имеются Фурье-спектрометры инфракрасного диапазона для изучения атмосферы Венеры. Они созданы совместно специалистами СССР и ГДР и изготовлены в ГДР. Одновременный полет двух станций позволит осуществить независимые измерения над различными районами Венеры, значительно расширив получаемую информацию о поверхности и атмосфере этой планеты.

Более 20 лет к Венере

запускаются советские автоматические межпланетные станции. Последовательные систематические исследования Венеры, проводимые советскими специалистами с помощью автоматов, коренным образом изменили представления о физико-химических условиях на этой планете. Особенно важные результаты были получены станциями «Венера-13» и «Венера-14», которые в марте 1982 г. выполнили уникальный космический эксперимент, позволивший впервые успешно решить принципиально новые задачи по изучению планеты. Основные результаты уже завершившихся запусков приведены в таблице.

С. А. Никитин
Москва

Таблица
Исследования Венеры советскими АМС

Станция	Дата запуска	Основные результаты
«Венера-1»	12.2.1961	Первый запуск автоматической станции к планете Венера. В мае 1961 г. станция прошла на расстоянии 100 тыс. км от планеты.
«Венера-2»	12.11.1965	Запущена в пролетном варианте; 27.2.1966 г. прошла на расстоянии 24 тыс. км от Венеры.
«Венера-3»	16.11.1965	Первый в истории межпланетный перелет; 1.3.1966 г. станция достигла Венеры.
«Венера-4»	12.6.1967	18.10.1967 г. при спуске на парашюте в атмосфере планеты впервые в истории космонавтики измерены газовый состав и параметры атмосферы Венеры.
«Венера-5» «Венера-6»	5.1.1969 10.1.1969	16 и 17 мая спускаемые аппараты вошли в атмосферу Венеры и исследовали более глубокие ее слои. Уточнены данные, полученные «Венерой-4».
«Венера-7»	17.8.1970	15 декабря 1970 г. спускаемый аппарат совершил мягкую посадку на поверхность Венеры и в течение 23 мин передавал информацию с ее поверхности.
«Венера-8»	27.3.1972	22 июля 1972 г. спускаемый аппарат совершил мягкую посадку на освещенной Солнцем стороне планеты и в течение 50 мин передавал информацию с ее поверхности. Измерены освещенность в атмосфере и на поверхности; определено содержание естественных радиоактивных элементов в поверхностном слое с помощью гамма-спектрометра; уточнены параметры атмосферы в месте посадки.

Окончание таблицы

«Венера-9» «Венера-10»	8.6.1975 14.6.1975	22 и 25 октября 1975 г. спускаемые аппараты совершили мягкую посадку на поверхность планеты. Орбитальные станции стали первыми искусственными спутниками Венеры. Проведены комплексные исследования атмосферы и поверхности планеты и околопланетного пространства; переданы уникальные панорамы поверхности Венеры в местах посадки.
«Венера-11» «Венера-12»	9.9.1978 14.9.1978	25 и 21 декабря 1978 г. станции совершили мягкую посадку и в течение соответственно 95 и 110 мин передавали информацию с поверхности. Впервые определены малые составляющие атмосферы Венеры, состав аэрозолей облачного слоя и строение облаков; получена новая информация об электрических процессах в атмосфере.
«Венера-13» «Венера-14»	30.10.1981 4.11.1981	1 и 5 марта 1982 г. совершили мягкую посадку и в течение соответственно 127 и 63 мин передавали информацию с поверхности. Впервые решены 3 принципиально новые и важные задачи: прямое определение химического состава аэрозолей облачного слоя; бурение поверхностного слоя, взятие проб грунта и прямое определение химического состава горных пород Венеры; передача на Землю цветных панорам поверхности с круговым обзором. Впервые также измерен УФ-поток солнечного излучения в атмосфере; определено содержание всех инертных газов и многих их изотопов в атмосфере; одновременно измерено содержание водяного пара несколькими способами.

Планетология

Осадочные породы на Венере

Анализируя панорамные изображения, переданные станциями «Венера-13 и -14», группа планетологов во главе с К. П. Флоренским (Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР) пришла к заключению, что на Венере имеются признаки процессов отложения рыхлого материала с образованием пород, аналогичных осадочным породам на Земле. В районах посадок станций поверхность планеты сложена почти горизонтальными слоями пород в виде многочисленных крутых уступов-ступеней высотой от 1—2 до 5—10 см. Особенно хорошо подобное строение проявляется в месте посадки «Венеры-14», где вся поверхность покрыта слоями при полном отсутствии рыхлого материала. Удалось насчитать до 10—12 слоев; часть из них имеет еще более тонкую структуру; их можно заметить в местах, где

они выходят на поверхность под углом. Нередко слои чередуются по яркости. В одних случаях толщина слоя остается неизменной на значительном протяжении, в других — меняется.

Разная яркость слоев, связанная с различием состава или размера слагающих частиц, многочисленность слоев, их небольшая толщина, однообразное горизонтальное залегание на протяжении нескольких десятков метров позволяют считать, что наблюдаемая слоистость имеет осадочное происхождение, причем отложение осадков происходило в спокойной, нетурбулентной среде. Именно такую среду представляют приповерхностные слои атмосферы Венеры. Подобная структура могла образоваться в условиях, характерных для современной Венеры, если предположить, что каким-то образом происходил подъем в атмосферу рыхлого тонкозернистого материала. Это могло осуществиться при извержении вулканического пепла, ветровом переносе и метеоритных ударах. Наименее вероятным представляется предположение, что слоистые поро-

ды на Венере — это древние осадки, отложившиеся в водной среде, поскольку надежных свидетельств существования в прошлом водной оболочки на Венере не имеется.

На первых панорамах поверхности Венеры, полученных в 1975 г. станциями «Венера-9 и -10», также наблюдалась тонкая слоистость с признаками горизонтального и косоугольного залегания слоев. Таким образом, анализ, выполнявшийся станциями «Венера», свидетельствует, что вещество поверхности планеты по химическому составу близко к базальтам¹. На основании всей совокупности имеющихся к настоящему времени данных породы поверхности Венеры можно считать туфами, которые образовались при осаждении на поверхность вулканических пеплов.

Lunar and Planetary Science XIV (abstracts), 1983, pt. 1, p. 89—90 (США).

¹ Подробнее см.: Барсуков В. Л. Изучение Венеры продолжается. — Природа, 1982, № 12, с. 10.

Космические исследования

Два японских спутника

В феврале 1983 г. в Японии были запущены два спутника — спутник связи «CS-2A» и астрономический — «Astro-B». «CS-2A» был выведен на промежуточную геоцентрическую орбиту с высотой в апогее 36 956 км, наклонением 28°8' и периодом обращения 653 мин. После выведения на орбиту он получил наименование «Сакура-2А». В марте «Сакура-2А» был переведен на геостационарную орбиту в точку с долготой 132°Е. Это первый японский эксплуатационный спутник связи на геостационарной орбите; до этого Япония запускала экспериментальные спутники связи.

Масса спутника 341 кг; его ретрансляционная аппаратура работает в субмиллиметровом и сантиметровом диапазоне (17,7—19,45; 3,7—4,2; 2,2865 и 3,950 ГГц). Спутник будет эксплуатироваться правительственными учреждениями и частными компаниями. Предполагается, что срок эксплуатации «Сакуры-2А» составит 54—60 месяцев. В 1983 г. Япония планирует запустить также второй эксплуатационный спутник связи «CS-2B».

«Astro-B» массой 216 кг был выведен на геоцентрическую орбиту с высотой в апогее 570 км, в перигее — 490 км, наклонением 31°8' и периодом обращения 95,2 мин. После выхода на орбиту спутник получил название «Тенма» (Пегас). Он имеет корпус в виде восьмигранной призмы высотой 0,9 м. На орбите стабилизируется вращением со скоростью 0,1 об/мин; ось вращения может менять направление в пространстве с помощью магнитной системы. «Тенма» предназначен для астрономических исследований в рентгеновском диапазоне. Это — третий спутник, запущенный Японией для подобных целей; ранее для астрономических исследований были запущены «COSA-B» («Хакутэ») и «Astro-A» («Хинотори»).

На борту «Тенмы» установлены четыре прибора:

— система газонаполнен-

ных сцинтилляционных счетчиков с общей площадью поверхности чувствительных элементов 1000 см², т. е. в 5 раз больше, чем у подобного счетчика на западноевропейском спутнике «Экзосат». Энергетическое разрешение счетчиков вдвое превышает разрешение обычных газонаполненных сцинтилляционных счетчиков. Это основной прибор спутника, предназначенный для спектрального анализа рентгеновских источников излучения низкой интенсивности; с его помощью предполагается классифицировать многие подобные рентгеновские источники, наблюдавшиеся другими спутниками;

— телескоп Адамара для сканирования обширных областей в поисках излучения высоких энергий от рентгеновских барстеров (спутник обнаружил уже восемь барстеров);

— детектор мягкого рентгеновского излучения;

— детектор всплесков гамма-излучения.

Spacewarn Bulletin, 1983, SPX-351, p. 5, 6; SPX-352, p. 1—2 (КОСПАР); Air et Cosmos, 1983, v. 20, № 945, p. 35 (Франция); Interavia Air Letter, 1983, № 10218, p. 8 (Швейцария).

Космические исследования

Изучение молнии из космоса

Во время космического полета по программе НАСА проводился эксперимент «Ночная и дневная съемка молний», организованный группой специалистов по атмосферному электричеству. С помощью приборов включалась система 16-миллиметровых камер и другая аппаратура, обладающая способностью регистрировать оптические импульсы грозовых разрядов в любое время суток.

Хотя существует немало ценных фотографий молний, сделанных при наземных наблюдениях, снимки из космоса представляют особый интерес так как содержат информацию, полученную «сверху»; она позволяет

по-новому судить о протяженности и строении грозовых разрядов.

Особое внимание специалистов привлекли сделанные во время зимней грозы над Бразилией ночные фотографии молнии, имевшей Y-образную форму. Ее длина составляла несколько десятков километров.

По результатам наблюдений сделан, в частности, вывод о том, что разряды молний могут возникать одновременно в местностях, отстоящих друг от друга на расстояния до 1,5 тыс. км. Разряды совпадают по времени с точностью около 40 мс. Это позволяет измерить скорость распространения электромагнитного сигнала в атмосфере.

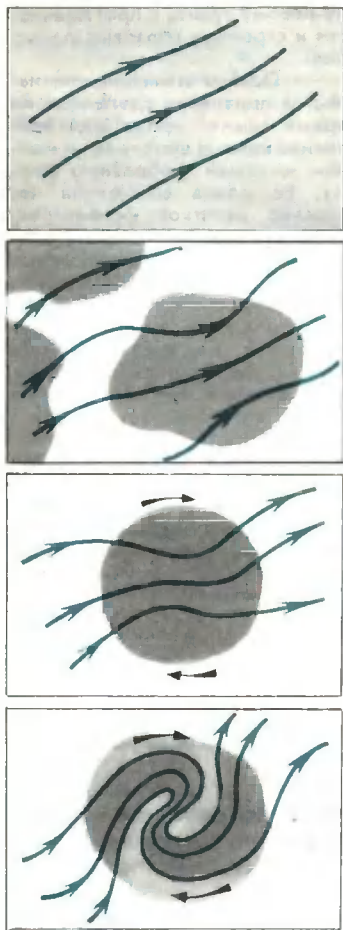
В следующих экспериментах предполагается провести координированное изучение молний с Земли и из космоса. Science News, 1983, v. 123, № 1, p. 8 (США).

Астрофизика

Куда направлено магнитное поле Галактики

Японские астрофизики Ю. Софуэ и М. Фудзимото (Yu. Sofue, M. Fujimoto) исследовали поляризацию излучения от внегалактических радиоисточников, чтобы определить структуру магнитного поля нашей Галактики.

Излучение почти всех внегалактических радиоисточников линейно поляризовано. Проходя сквозь межзвездную плазму Галактики, пронизанную галактическим магнитным полем, это излучение испытывает поворот плоскости поляризации (так называемое фарадеевское вращение), который тем больше, чем больше напряженность магнитного поля и плотность заряженных частиц в плазме. Кроме того, величина поворота зависит от длины волны радиоизлучения, так что, измеряя направление поляризации на разных длинах волн и определяя независимым образом (например, по радиоизлучению пульсаров)



Последовательные стадии формирования магнитного поля Галактики. На верхнем рисунке: первичное магнитное поле, существовавшее до образования Галактики. На последующих рисунках: в стадии процесса сжатия газового облака (заштрихованные области) первичное магнитное поле также сжималось и усиливалось, не теряя связи с межгалактическим полем и сохраняя регулярную структуру (цветные стрелки — силовые линии, черные стрелки — направление вращения протогалактики).

скости поляризации радиоизлучения.

На основании анализа данных о повороте плоскости поляризации излучения почти от 1500 внегалактических радиоисточников было установлено, что галактическое магнитное поле вытянуто вдоль спиральных рукавов Галактики, в которых концентрируются межзвездный газ и молодые звезды. Направление поля изменяется при переходе от одного рукава к другому. По-видимому, спиральный узор Галактики представляет собой двухрукавную спираль: в одном рукаве магнитное поле направлено к центру Галактики, а в другом — от центра; таким образом, на конце одного рукава магнитное поле как бы входит в Галактику из межгалактического пространства, а на конце другого рукава выходит из нее. Такая геометрия магнитного поля согласуется с гипотезой, согласно которой это поле имеет межгалактическое происхождение и существовало еще до образования Галактики.

Для проверки гипотезы необходимо было определить структуру магнитного поля и в других спиральных галактиках. Это было сделано путем измерения фарадеевского вращения сквозь некоторые близкие спиральные галактики — Туманность Андромеды, небольшую спираль в созвездии Треугольника, галактику Водоворот в созвездии Гончих Псов и др. Во всех случаях структура магнитного поля оказалась такой же, как в нашей Галактике — бисимметричной открытой спиралью. *Astrophysical Journal*, 1983, v. 265, No 2, pt. 1, p. 722—729 (США).

Математика

Рекордное простое число

В январе 1983 г. появилось сообщение, что число $2^{85243} - 1$ является простым, т. е. не делится ни на какие целые числа, кроме 1 и самого

себя¹. Этот результат получен Д. Словински (D. Slowinski, США) на ЭВМ «Крей-1». Найденное число относится к так называемым числам Мерсенна $M_p = 2^p - 1$, получившим свое название в честь М. Мерсенна — францисканского монаха, крупного ученого первой половины XVII в. Собственно, об особой роли этих чисел знал еще Евклид (доказавший, кстати, что множество простых чисел бесконечно). Дело в том, что если $2^p - 1$ — простое число, то $(2^p - 1) \cdot 2^{p-1}$ — совершенное число, т. е. оно равно сумме всех своих делителей. Л. Эйлер показал, что таким образом получаются все четные совершенные числа. Существуют ли нечетные совершенные числа, неясно и по сей день.

Возможно, первоначально Мерсенн полагал, что последовательность M_p при простых p состоит только из простых чисел. Действительно, для первых четырех простых p (2, 3, 5, 7) числа M_p — простые, но уже $M_{11} = 2047$ может быть представлено в виде 23×89 . Правда, M_{13} , M_{17} и M_{19} также оказались простыми. Проверить, будут ли простыми M_p для больших p Мерсенн не смог, ввиду громоздкости вычислений, однако, исследовав некоторые необходимые условия, он в 1644 г. высказал предположение о том, для каких $p \leq 257$ числа M_p — простые. Проверка гипотезы Мерсенна, завершенная сравнительно недавно, показала, что он ошибся в пяти случаях. В этой области ($19 < p \leq 257$) простыми являются M_{31} , M_{61} , M_{89} , M_{107} и M_{127} . (Интересно что простоту $M_{31} = 2\,147\,483\,647$ установил еще Эйлер.)

Понятно, что проверить, окажется ли простым столь большое число, очень нелегко, так как для этого необходимо перепробовать колоссальное количество делителей. Однако Эйлер (а до него П. Ферма) обнаружили, что числа Мерсенна могут иметь делители специального вида (одновременно они

плотность межзвездной плазмы, можно установить напряженность межзвездного магнитного поля. Его ориентацию также определяют по тому, в какую сторону происходит поворот пло-

¹ The Mathematical Intelligencer, 1983, v. 5, No 1, p. 60.

должны быть представимы в виде $2pk-1$ и $8l\pm 1$, где k и l — целые числа). Это резко сократило перебор и привело к тому, что с тех пор большие простые числа искали почти исключительно среди чисел Мерсенна.

В дальнейшем способ проверки простоты чисел Мерсенна упростился. Решающий вклад внес Е. Лукас в 1876 г. В более поздней модификации его критерий формулируется так: M_p — простое только в том случае, если число u_{p-1} , определяемое рекуррентным соотношением $u_1=4$, $u_k=u_{k-1}^2-2$, делится на M_p . Лукас доказал, что число Мерсенна M_{127} , имеющее 39 знаков, является 12-м простым числом. «Рекорд» Лукаса продержался до 1952 г., ибо в этой задаче возможности «невооруженного» человека были исчерпаны.

В 1952 г. к поискам новых простых чисел подключили ЭВМ «SWAC». После перебора 66 чисел M_p для $p>127$ было найдено 13-е простое число Мерсенна M_{521} , а затем выяснилось, что простые оказались также M_{607} и M_{1279} . Последнее число уже насчитывало 386 знаков. С тех пор развитие ЭВМ и методов вычислений постоянно сопровождалось открытием новых простых чисел Мерсенна, что служило рекламой вычислительной техники. Наконец, в 1979 г. Словински обнаружил 27-е простое число Мерсенна M_{44497} .

Число M_{86243} , о котором сообщается сейчас, записывается 25 962 десятичными знаками. Проверка его простоты на самой быстродействующей ЭВМ заняла 1 ч 3 мин 22 с. При этом максимально использовались все способы быстрого выполнения арифметических операций над большими числами. Не найдя простых M_p для $44497 < p \leq 62000$, отчаявшийся автор «перескочил» в интервал $75000 < p \leq 100\,000$, где и обнаружил наибольшее из известных простое число M_{86243} . Неясно поэтому, представляет ли оно собой 28-й элемент этой последовательности простых чисел. Впрочем, автор обещает исследовать пропущенный промежуток числового ряда.

В заключение отметим, что бесконечность множества простых чисел Мерсенна не доказана до сих пор.

С. Г. Гиндикин,
кандидат физико-
математических наук
Москва

Физика

Волоконные световоды и ультракороткие световые импульсы

Ультракороткие световые импульсы, генерируемые лазерами, широко применяются для изучения быстропротекающих процессов в веществе. Современные лазеры позволяют получать импульсы длительностью 10^{-13} с. Однако сегодняшней науке требуются в качестве инструмента исследований еще более короткие импульсы.

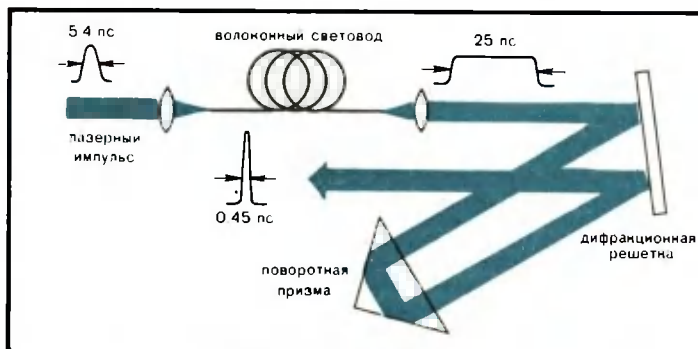
В лазерах (как и в других источниках) длительность импульсов не может быть меньше так называемой обратной ширины спектра генерации (следствие соотношения неопределенностей Гейзенберга). В свою очередь, спектр генерации ограничен спектральной шириной коэффициента усиления активной среды лазера. Поэтому делаются попытки уменьшить длитель-

ность лазерных импульсов с помощью внешних по отношению к лазеру устройств.

В исследовательском центре компании «Ай-Би-Эм» (Нью Йорк, США) разработано устройство, с помощью которого длительность световых импульсов удалось сократить в 12 раз — с 5,4 пс до 0,45 пс. Основной элемент устройства — одномодовый волоконный световод; он расширяет спектр импульса, подлежащего сокращению. Расширение спектра происходит вследствие нелинейного распространения светового импульса в материале световода — стекле. Известно, что при прохождении достаточно интенсивного светового импульса через стекло показатель преломления стекла изменяется пропорционально интенсивности излучения; в свою очередь, реакция среды и приводит к расширению спектра импульса.

Световые импульсы длительностью 5,4 пс и пиковой мощностью 1 кВт от квазинепрерывного лазера на красителе фокусировались на входной торце одномодового световода с диаметром сердцевинки 4 мкм. Плотность мощности излучения на входе в световод составляла около $5 \cdot 10^9$ Вт/см² и была достаточна для увеличения показателя преломления стекла в пятом-шестом знаке после запятой. На переднем фронте импульса это изменение показателя преломления приводило к расширению спектра в сторону меньших частот, а на заднем фронте — в сторону больших частот. Кроме того, из-за дисперсии стекла световода длительность импульса возрастала, так как низкочастотные части импульса распространяют-

Устройство сокращения длительности пикосекундных световых импульсов. Дифракционная решетка и поворотная призма образуют диспергирующую линию задержки.



ся в световоде быстрее высокочастотных. В результате после прохождения 30 м световода длительность импульса увеличивалась до 25 пс при ширине спектра, более чем в 10 раз превосходящей исходную.

Одномодовый характер световода обеспечивал распространение импульса как единого целого, т. е. без пространственного дробления на части, что крайне важно для последующего сокращения его длительности. Это сокращение осуществлялось в устройстве — так называемой диспергирующей линии задержки, — где скорость распространения различных частотных компонентов импульса неодинакова. Когда импульс проходил через линию задержки, его передний фронт, содержащий низкочастотные компоненты спектра, задерживался по отношению к заднему фронту, состоящему из высокочастотных компонентов; в результате длительность импульса сокращалась до 0,45 пс. Это в 12 раз меньше длительности исходного импульса и приблизительно в 60 раз меньше длительности импульса на входе в линию задержки. Энергия сжатого импульса составила 25% от энергии исходного импульса; основная доля потерь энергии связана с отражением излучения от элементов линии задержки. Несмотря на это, 12-кратное сокращение длительности привело к увеличению пиковой мощности излучения в сжатом импульсе до 3 кВт.

Applied Physics Letters, 1983, v. 42, № 1, p. 1—2 (США).

Физика

Влияние слабых магнитных полей на структуру твердых тел

Недавно было установлено, что слабые импульсные магнитные поля способны существенно изменять структурно-чувствительные параметры полупроводников и некоторые свойства ферромагнитных сплавов. Исследования сотрудников

Горьковского государственного университета им. Н. И. Лобачевского и Института кристаллографии им. А. В. Шубникова АН СССР позволили с помощью электронно-микроскопической техники наблюдать структурные изменения, которые происходят в кристаллах под действием таких магнитных полей. Эксперименты проводились на кристаллах NaCl с двухвалентной катионной примесью CdCl_2 или PbCl_2 .

Известно, что при росте легированных кристаллов NaCl в них образуются вкрапления примесной фазы состава $\text{CdCl}_2(\text{PbCl}_2) \cdot 6\text{NaCl}$. Электронный микроскоп позволил установить, что эти вкрапления имеют квадратную или округлую форму и окружены двойными электрическими слоями, воспроизводящими форму вкраплений. В отсутствие каких-либо воздействий эти области остаются неизменными в течение всего времени эксперимента. В образцах, подвергшихся воздействию слабого импульсного магнитного поля, вкрапления распались. Причем после магнитной обработки в течение достаточно длительного «латентного» периода (4—5 суток) не наблюдалось каких-либо изменений. А затем в кристаллах были обнаружены первые заметные визуальные признаки распада примесной фазы: области включений теряли четко выраженную форму, делились, а спустя 10—20 суток на электронно-микроскопических фотографиях можно было обнаружить лишь единичные точечные дефекты или их группировки в виде кластеров.

По-видимому, слабое импульсное магнитное поле в первую очередь воздействует на парамагнитные ионы, всегда присутствующие в виде неконтролируемых примесей в кристаллах и способные стабилизировать определенные элементы квазиравновесных реальных структур твердых тел. Магнитная обработка устраняет стабилизацию таких неустойчивых элементов структуры, происходит перестройка реальной структуры кристаллов, в результате меняются их структурно-чувствительные свойства. В частности, магнитная обработка может увеличить твердость и прочность

ферромагнитных сплавов; дело в том, что изменение структуры магнитообработанных образцов сопровождается диффузными процессами, в результате которых их поверхностные слои обогащаются легирующими примесями.

Доклады АН СССР, 1983, т. 268, № 3, с. 591—593.

Физика

Пьезокристалл — акустический аналог лазера

Распространение звука в полупроводниковых кристаллах, обладающих пьезоэлектрическими свойствами и помещенных в знакопеременное электрическое поле, может сопровождаться усилением акустических волн за счет преобразования энергии поля в энергию звуковых колебаний. Если кристалл ограничен поверхностями, зеркально отражающими акустические волны, а усиление превосходит потери энергии в полупроводнике, такой кристалл можно использовать для создания генератора звука, подобного лазеру в случае электромагнитных волн.

Хотя принципиальная возможность описанного эффекта была установлена еще в конце 60-х годов¹, на практике генерацию интенсивных ультразвуковых колебаний удалось наблюдать лишь недавно. В эксперименте, поставленном в Институте радиотехники и электроники АН СССР, использовались кристаллы InSb длиной от 4 до 8 мм. Генерация наблюдалась в гигагерцовом диапазоне в относительно широком частотном интервале 50 МГц. Как выяснилось, критическим фактором для ее возникновения является форма колебаний электрического поля: максимум усиления достигается, если колебания имеют вид прямоугольных им-

¹ Эпштейн Э. М. — Физика твердого тела, 1968, т. 10, с. 2945; Левин В. М., Чернотанский Л. А. — ЖЭТФ, 1970, т. 59, с. 142.

пульсов, а импульсы с пологим фронтом резко снижают усиление. В частности, по этой причине оказались неудачными предпринимавшиеся ранее попытки получить генерацию звука в синусоидальном высокочастотном электрическом поле; усиление было недостаточным, чтобы компенсировать поглощение звука кристаллической решеткой.

Активная среда, способная усиливать акустические волны, может найти применение в таких приборах акустоэлектроники, как линии задержки, генераторы, устройства для корреляционной обработки сигналов и т. п.

Письма в ЖТФ, 1983, т. 9, № 1, с. 35—38.

Физика

Новое связанное состояние «прелестных» кварков

В Корнеллском университете (Итака, США) на установке «CESR» со встречными электрон-позитронными пучками получены свидетельства в пользу существования новых частиц, принадлежащих системе «бьютиония» (от англ. beauty; так называют связанные состояния «прелестных» b - и $\bar{b}$ -кварков).

После открытия в 1974 г. J/ψ -частицы, которую интерпретировали как связанное состояние очарованных кварков c и $\bar{c}$, появилась новая область физики — спектроскопия тяжелого «кваркония» (связанные состояния тяжелых кварков и антикварков одинаковых сортов). Так, в чармонии, состоящем из c и $\bar{c}$, к настоящему времени открыты почти все предсказанные состояния. В 1977 г. был обнаружен Υ -мезон, а затем еще три аналогичных частицы: Υ' , Υ'' и Υ''' . Именно открытие Υ -частиц привело к появлению в теоретических схемах пятого, b -кварка, носителя квантового числа «прелесть». Однако вопрос о возможном числе различных сортов кварков или, в более

общем виде, о числе поколений кварков и лептонов, пока не получил полного решения.

Кварки, входящие в чармоний и бьютионий, очень массивны и медленно движутся внутри частиц. Поэтому их состояния можно описывать в рамках нерелятивистской квантовой механики. Для этого вводят феноменологический потенциал взаимодействия кварков между собой. Энергетические уровни кварковой системы в потенциальном поле вычисляются примерно так же, как уровни энергии обычного атома, с той лишь разницей, что в атоме — это кулоновское электрическое поле, а для кварков приходится изобретать новый потенциал взаимодействия, растущий на бесконечности и тем самым обеспечивающий «запирание» кварков внутри частиц. Полученные таким образом уровни энергии интерпретируются как частицы с соответствующими массами.

Спин Υ -мезона равен единице, а спин кварков равен $1/2$. Такое состояние получается, когда спины кварков параллельны, а орбитальный угловой момент их относительного движения равен нулю. Возбуждение в такой системе, т. е. переход кварков на более высокие орбиты, приводит к появлению состояний с тем же спином, но с большей массой — Υ' , Υ'' и Υ''' . Однако в связанной системе b -кварков возможны и другие варианты состояний. Например, спины кварков параллельны, а угловой момент равен единице (так называемое P -состояние, согласно терминологии атомной физики). Тогда полный момент системы может принимать три значения: 0, 1 и 2; иными словами, существуют три частицы, являющиеся P -состояниями бьютиония; их принято обозначать χ_b (индекс « b » указывает на их принадлежность к бьютионию, в отличие от аналогичных частиц в системе чармония). Для таких частиц также могут существовать радиальные возбуждения, т. е. частицы χ_b со спинами 0, 1 и 2, но имеющие большую массу. В Корнеллском университете получены указания на существование именно таких частиц.

В столкновениях электронов и позитронов обычно рож-

даются состояния с нулевым угловым моментом, т. е. Υ -мезоны. Остальные состояния бьютиония изучают по квантовым переходам, в полной аналогии с атомной спектроскопией. Как и в обычном атоме, переходы между энергетическими уровнями в кварковой системе сопровождаются излучением фотона. В экспериментах изучалось рождение в e^+e^- -столкновениях одного из возбужденных состояний Υ -мезонов: частицы Υ'' с массой 10 347 МэВ. Такое состояние имеет большую энергию и может перейти в состояние с меньшей энергией, испустив при этом фотон: $\Upsilon'' \rightarrow \chi_b' + \gamma$.

Мезон Υ'' рождается в столкновениях электронов и позитронов с противоположными, но одинаковыми по величине импульсами. Поэтому его импульс равен нулю, т. е. он покоится. Как следствие при распаде Υ'' испускается фотон строго определенной энергии, равной разности масс Υ'' и χ_b' . В экспериментах был зафиксирован сигнал от таких мономонотических фотонов с энергией около 98 МэВ. Этот сигнал интерпретирован как наблюдение искомого распада $\Upsilon'' \rightarrow \chi_b' + \gamma$. Определена относительная вероятность такого распада: примерно 34%. Полученные данные находятся в согласии с теоретическими расчетами.

В экспериментах не удалось зафиксировать все три частицы χ_b' . Согласно теоретическим оценкам, разность их масс составляет 30—60 МэВ. В спектре испущенных фотонов должны были появиться, соответственно, три линии, но уровень разрешения детектора оказался недостаточным для их наблюдения.

Physical Review Letters, 1982, v. 49, № 22, p. 1612—1616 (США).

Молекулярная биология

Митохондриальные гены обнаружены в ядре

Известно, что митохондрии содержат ДНК, которая кодирует, в частности, образование целого ряда белков митохондрий. Эти белки не обна-

руживаются в цитоплазме клеток, и, как считалось до последнего времени, кодирующие их гены присутствуют только в митохондриях.

Недавно в нескольких лабораториях было показано, что такая точка зрения неправильна. В целом ряде эукариотических организмов (морском еже, саранче, дрожжах, нитчатом аскомиците — подоспоре) митохондриальные гены были обнаружены в составе ядерного генома. Наиболее убедительные доказательства получены исследователями отдела молекулярной биологии Техасского университета (Даллас, США). Они выделили фрагмент митохондриальной ДНК дрожжей, кодирующий один из рибосомных белков митохондрий — белок var 1. Этот фрагмент был использован для гибридизации с ДНК мутантов дрожжей, в которых отсутствует митохондриальная ДНК. Несмотря на это, используемый фрагмент гибридизовался с ДНК из такого мутанта, что свидетельствовало о наличии в мутанте гомологичных последовательностей нуклеотидов.

Опыты по скрещиванию подтвердили, что фрагмент митохондриальной ДНК гибридизуется именно с хромосомной ДНК мутанта. Ген белка var 1 оказался не единственным митохондриальным геном, для которого имеются гомологи в ядре. Так, в ядре дрожжей был обнаружен участок ДНК, гомологичный митохондриальному гену, который кодирует апоцитохром b. Эти ядерные гены, сходные с митохондриальными по структуре, не «работают», и белков под их контролем не образуется. Их называли «молчащими», или псевдогенами. Однако их структура, несмотря на значительное сходство с соответствующими генами митохондрий, несколько отличается от них. Было подсчитано, что ядерные псевдогены произошли из митохондриальных около 25 млн лет назад. Это небольшой срок, если учесть, что современные грибы произошли примерно 400 млн лет назад.

При исследовании хромосомных генов морского ежа (*S. purpuratus*) в их составе также

были обнаружены последовательности митохондриальной ДНК. Однако для подоспоры (*Podospira anserina*) характерна обратная ситуация: там «молчащий» ген присутствует в митохондриях, а срабатывающий — в ядре.

Каким же образом происходит перенос генов между митохондриями и ядром? Возможно, при разрушении митохондрий внутри клеток часть митохондриальной ДНК выходит в цитоплазму и затем попадает в ядро клетки за счет тех же механизмов, которые лежат в основе трансформации клеток. Функциональное значение такого переноса, а также роль «молчащих» генов остаются пока невыясненными.

Nature, 1983, v. 301, № 5898, p. 296—301; 371—372 (Великобритания).

Вирусология

Установлен возбудитель скрепи!

С. Прусайнер (S. Prusiner; Калифорнийский университет, США), изучая скрепи — заболевание овец и коз, характеризующееся возникновением и последующим развитием дегенеративных изменений в центральной нервной системе, высказал предположение о природе агента, вызывающего это заболевание. Скрепи относится к медленно протекающим вирусным инфекциям, имеющим необычно длительный инкубационный период. Так, у лабораторных мышей и хомяков, наиболее чувствительных к скрепи, инкубационный период составляет не менее 200—300 дней.

Как известно, в состав всех вирусов входят нуклеиновые кислоты, образующие их геном. Вирусы так и подразделяются: на ДНК- или РНК-содержащие. По мнению Прусайнера, агент, вызывающий скрепи, представляет собой олигонуклеотид (в его состав входят лишь несколько пар оснований) или инфекционный белок, который совсем не содержит нуклеиновой кислоты.

Подобное предположение основано на том, что хотя возбудитель скрепи по многим свойствам и сходен с вирусами (например, обладает способностью проходить через бактериальные фильтры и размножаться в организме чувствительных к нему животных), он отличается от них более высокой устойчивостью к физико-химическим воздействиям. Кроме того, в отличие от большинства инфекционных вирусов, в крови зараженных или больных скрепи животных не удалось обнаружить специфических антител, направленных против агента, вызывающего заболевание. Обработка материала, содержащего возбудитель скрепи, денатурирующими, дезагрегирующими или разрушающими структуру белков веществами снижает инфекционность материала. Это означает, что в состав возбудителя скрепи входит белок. В то же время обработка веществами, способными инактивировать нуклеиновые кислоты, не снижает инфекционности этого материала.

Предполагается, что возбудитель скрепи имеет молекулярный вес, равный 50 тыс. дальтон или еще меньше. По-видимому, инфекционный агент таких размеров слишком мал, чтобы содержать нуклеиновую кислоту, состоящую более чем из нескольких нуклеотидов.

С другой стороны, возбудителя скрепи до сих пор не удалось получить в достаточно очищенном виде; это значительно затрудняет установление его биохимических характеристик. Отсутствие специфических антител к возбудителю в крови у зараженных животных можно объяснить недостаточной выраженными антигенными свойствами инфекционного агента. Напомним, что антитела не удается найти и против других возбудителей медленных инфекций (куру, болезни Крейтцфельда — Якоба). Наконец, вполне возможно, что вещества, использованные для инактивации нуклеиновых кислот возбудителя скрепи, просто не смогли «добраться» до этих кислот из-за белковой защиты.

Nature, 1982, v. 297, № 5862, p. 107—108 (Великобритания); Science, 1982, v. 216, № 4542, p. 136 (США).

Психофизиология

Как определить направление движения?

До сих пор неясно, каким образом человек отличает направление, в котором движется, от направления своего взгляда, если эти направления не совпадают. Большинство исследователей считают, что с помощью одного только зрения мы не можем установить, куда мы движемся, — для этого необходима информация и от других органов чувств, в частности от вестибулярного аппарата, от рецепторов мышц и суставов.

Д. Риган и К. Беверли (D. Regan, K. Beverley; Далхауэский университет в Галифаксе, Канада) решили, что для исследования этого вопроса вовсе не нужно заставлять испытуемого куда-то двигаться. В своих экспериментах они испытуемому, неподвижно сидящему в кресле в темной комнате, показывали на широком экране рисунок синусоиды; время от времени эта синусоида деформировалась: отдельные ее части увеличивались или уменьшались по сравнению с другими. Та область рисунка, на которой деформации происходили с максимальной скоростью, вызывала отчетливое ощущение движения в этом направлении. Эффект не зависел от того, был ли взгляд направлен именно на эту часть синусоиды.

Таким образом, считают Риган и Беверли, для определения направления собственного движения достаточно лишь зрительной информации. Это направление совпадает с направлением наибольшей скорости изменения величины образа на сетчатке глаза.

Science, 1982, v. 215, № 4529, p. 194—196 (США).

Медицина

Новые методы лечения ожогов

Согласно американским данным, в США ежегодно с ожо-

гами попадают в больницы около 130 тыс. человек. Из них примерно 10 тыс. не удается спасти.

Опыт, накопленный медициной, показывает, что очень важно быстро покрыть поверхность ожога, чтобы предотвратить как попадание инфекции, так и потерю жидкости. Теоретически лучшим материалом для этого может служить собственная кожа больного, но выполнить это в случаях тяжелых ожогов с большой площадью поражения практически невозможно. В этих целях часто используют доноров, однако наталкиваются на иммунную защиту организма, приводящую к отторжению чужеродного кожного лоскута.

И. Ианнас и Дж. Барке (I. Yannas, J. Barke; Главный Масачусетский госпиталь, США) создали высокопористый полимер из волокон коллагена кожи быка (не вызывающий иммунных реакций отторжения) и ковалентно связали его с хондроитин-6-сульфатом — полисахаридом, полученным из хрящей акулы. Этот полимер покрывает сверху специальной силиконовой резиной. Все вместе накладывается на поверхность ожога и служит превосходным барьером как для проникновения инфекции, так и для потери жидкости. Пока идет процесс заживления, нижний слой коллагена постепенно рассасывается. Примерно к тридцатому дню, когда на коже образуется новый слой эпидермиса, верхний слой полимера — силиконовый, защищающий от инфекции — отпадает сам или удаляется искусственно.

Новый метод лечения ожогов был испытан на 35 тяжелообожженных людях в возрасте от 3 до 85 лет и дал хорошие результаты. Все пострадавшие остались живы, тогда как при других способах лечения часть из них неминуемо погибла бы.

Другой способ, испытанный пока только на животных, заключается в том, что у получивших ожоги морских свинок берут маленький кусочек здоровой кожи и выделяют из него путем обработки ферментом трипсином наиболее незрелые, так называемые базальные клетки кожного эпидермиса. Их «засевают» в полимерную сеть и накладывают все это на поверх-

ность ожога. Достаточно, чтобы площадь лоскута составила всего четвертую часть площади поверхности ожога. Базальные клетки размножаются и спустя две недели создают новый сплошной слой эпидермиса, после чего полимерный остов можно удалить. Через 30 дней образуется новая кожа.

Science, 1982, v. 217, № 4559, p. 522 (США).

Медицина

Сigaretный дым мешает самоочищению легких

Дж. Джекоб (G. J. Jakob; Департамент по научным основам охраны окружающей среды, США), в течение ряда лет изучавший влияние сигаретного дыма на здоровье человека, опубликовал экспериментальные данные о характере воздействия одного из наиболее токсичных его компонентов — акролеина — на антибактериальную устойчивость легких.

Объектом исследования служили мыши, которые вдыхали акролеин в концентрации 3,9 и 7,8 мг/м³ в течение 8 часов. В отличие от прежних исследований, которые показали, что акролеин в этих концентрациях вредного действия на здоровых животных не оказывает, в данной работе воздействию акролеина подвергались мыши, зараженные вирусом гриппа А. В качестве показателя антибактериальной устойчивости легких использовали их способность самоочищаться от бактерий.

В течение 45 минут непосредственно перед воздействием акролеина мышам заставляли вдыхать аэрозоль с культурой золотистого стафилококка. Оказалось, что у больных животных акролеин в концентрации 3,9 мг/м³ снижает способность легких к самоочищению почти в 1,5 раза. Воздействие акролеина в концентрации 7,8 мг/м³ полностью парализует защитные реакции, направленные на выведение бактерий из легких.

Таким образом, акролеин в концентрациях, безвредных для здоровых животных, спосо-

бен резко усугублять течение легочных заболеваний. По мнению автора, одной из причин ухудшения способности легких к самоочищению от бактерий является повреждение альвеолярных макрофагов, играющих важную роль в этом процессе.

Toxicology and Applied Pharmacology, 1983, v. 67, № 1, p. 49—54 (США).

Биохимия

Факторы роста и дифференцировки костной ткани

Дж. Фарли и Д. Бейлинк (J. Farley, D. Baylink; Университет в Лома-Линда, Калифорния, США) выделили вещество, стимулирующее рост клеток костной ткани человека и куриных эмбрионов, и назвали его фактором роста скелета человека. Фактор был выделен из головок бедренных костей человека, полученных в результате хирургической операции. Он оказался белком с молекулярной массой 83 тыс. дальтон. При обработке детергентом фактор распался на одну большую частицу (молекулярной массой 63 тыс. дальтон) и две маленькие.

В опытах *in vitro* малые концентрации этого белка (0,3 мкг на 1 мл) усиливали синтез ДНК клеток костей человека примерно в 2,5 раза, а также ускоряли их размножение. На другие типы клеток фактор также оказывал стимулирующее влияние, хотя и гораздо более слабое.

М. Урист (M. Urist; Калифорнийский университет, США) из костей кролика, коровы, а затем и человека выделил другой белок с молекулярной массой 17 тыс. дальтон, который он назвал белком костного морфогенеза. Белок способен усиливать процессы дифференцировки клеток костной ткани из недифференцированных клеток.

По-видимому, обнаруженные два фактора костной ткани, находясь в организме, дополняют деятельность друг друга: один ведает дифференцировкой костных клеток, а другой регулирует их общее число. По мнению авторов работы, оба

фактора можно использовать для восстановления у человека и животных дефектов костной ткани, которые наблюдаются, например, при остеопорозах, периодонтозах зубов и других болезнях. С другой стороны, при деформирующем остите — хроническом заболевании, характеризующимся увеличением и деформацией костей черепа, позвоночника и конечностей, — была обнаружена повышенная концентрация фактора, стимулирующего рост костной ткани. По-видимому, способ лечения этого заболевания связан с поиском антител, направленных против этого фактора. Пока, на данном этапе исследований, удалось обнаружить на клетках костной рецепторы к этому фактору.

Biochemistry, 1982, v. 21, p. 3502, 3508 (США).

Биохимия

Морской еж — источник эйкозапентаеновой кислоты

Эйкозапентаеновая кислота ($C_{19}H_{35}COOH$) является одним из предшественников в биосинтезе простагландинов¹, а также самой активной незаменимой жирной кислотой для некоторых видов водных организмов. Большой интерес эта кислота представляет и как средство для предотвращения сердечно-сосудистых заболеваний: сильнее, чем другие жирные кислоты, она снижает уровень триглицеридов и холестерина в организме, уменьшает свертываемость крови и препятствует образованию тромбов. Хотя эйкозапентаеновая кислота широко распространена в природе, до сих пор она остается труднодоступной для выделения. Поэтому весьма ак-

туальны поиск удобных источников этой кислоты и совершенствование методов ее выделения из природного сырья.

В. Е. Васильковский и Н. А. Ромашина (Институт биологии моря ДВНЦ АН СССР, Владивосток) исследовали распределение эйкозапентаеновой кислоты в половых железах, пищеварительных органах и панцирях морских ежей (*Strongylocentrotus intermedius*). В СССР и Японии этот вид морских ежей является промысловым (из половых желез животных готовят пищевой продукт — «икру морских ежей»). По данным авторов, содержание эйкозапентаеновой кислоты в половых железах морских ежей может достигать более 30% от суммы всех жирных кислот. Наиболее богаты этой кислотой половые железы самцов. С помощью метода разделения на силикагеле, пропитанном солями серебра, из органов и тканей морских ежей удалось выделить эйкозапентаеновую кислоту чистотой не менее 97—98%.

Биоорганическая химия, 1983, т. 9, № 2, с. 266—269.

Биохимия

География токсичности фуру

В Японии нередко случаются отравления людей традиционным блюдом, приготовленным из мяса фуру — одного из представителей сродночелюстных или тетраодоновых рыб. Хорошо известны и тетрадотоксин — вещество, выделяемое из этих рыб и представляющее собой не только сильный яд, но и очень интересное соединение для фармацевтической промышленности.

Японские биологи Т. Мацуи, С. Хамада (Takashi Matsui, Shingo Hamada; лаборатория физиологии рыб школы рыбохозяйственных наук при Университете Китасато) впервые проследили географическую изменчивость токсичности фуру (*Fugu niphobles*) в прибрежных японских водах.

Учитывая значительную

¹ Простагландины — группа биологически активных природных соединений, регуляторов обмена веществ в организме; их обычно рассматривают как производные простаеновой кислоты ($C_{19}H_{37}COOH$).

сезонную изменчивость токсичности фугу, наибольшую в период размножения, исследователи выловили в прибрежных водах восьми районов Японии 22 взрослых самки непосредственно перед их нерестом (в мае — июне) и в замороженном виде доставили в лабораторию. Токсичность печени и яичников с созревшей икрой была изучена на мышах по стандартной методике. Выяснилось, что степень токсичности фугу при сравнительно низких индивидуальных различиях весьма существенно меняется от района к району: для печени она колеблется в 50 раз, для яичников — почти в 17 раз. Наибольшей токсичностью отличались рыбы, пойманные вблизи Нотомаси (префектура Исикава) и Накаямы (префектура Эхиме).

Полученные данные, во-первых, уточняют географию промысла фугу для пищевых и фармацевтических целей и, во-вторых, могут пролить определенный свет на природу возникновения и варьирования токсичности таких рыб.

Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1982, v. 48, № 8, p. 1179 (Япония).

Микробиология

«Быстрое» шампанское

Чтобы получить шампанское высокого качества, его выдерживают с дрожжами в герметически закупоренных бутылках в течение 3 лет. За это время винные дрожжи не только превращают сахар в этиловый спирт, но и выделяют ароматические вещества, создающие букет вина. Нельзя ли ускорить процесс созревания шампанского без потери его качества?

Поисками решения этой задачи занимались А. К. Родопуло, Т. А. Людникова, А. А. Беззубова и И. А. Егоров (Институт биохимии им. А. Н. Баха АН СССР). В своих экспериментах они добавляли к шампанскому не целые дрожжевые клетки, как это обычно делается, а раздробленные, поскольку известно, что необходимые для

созревания вина вещества выделяются из дрожжевых клеток по мере их самопроизвольного разрушения. Оказалось, что из раздробленных дрожжей содержимое их клеток (ароматизующие вещества и ферменты, участвующие в биохимических процессах) выделяется быстрее и созревание шампанского ускоряется.

Кроме того, в вине, выдержанном с разрушенными дрожжами, накапливается больше высококипящих эфиров, терпеноидных соединений, летучих органических кислот, т. е. тех веществ, которые улучшают букет и вкус вина. Особенно важно, что почти в 2 раза (от 0,72 мг/л — в контрольных образцах до 1,3 мг/л — в опытных) повысилось содержание сложного эфира этиллинолеата, благодаря которому шампанское приобретает цветочный аромат и от которого зависит качество вина. При дегустации «быстрое» шампанское получило 9,3 балла, а приготовленное обычным способом — 8,9 балла.

Разработанный исследователями способ созревания шампанского позволил не только улучшить его качество, но и сократить срок выдержки до 1 года.

Прикладная биохимия и микробиология, 1983, т. XIX, вып. 2, с. 256.

Зоология

Микробы разрушают скорлупу яиц аллигаторов

Все современные виды крокодилов откладывают яйца в твердой известковой скорлупе. Оценка различных параметров газообмена и водопроницаемости кальцинированной скорлупы долгое время была основана на предположении, что ее пористость остается постоянной в течение всего периода инкубации. Однако это положение не подтвердилось при 65-дневном наблюдении за инкубацией кладок миссисипского аллигатора (*Alligator mississippiensis*), которое проводил М. Фергюсон: выявилась оче-

видная необходимость предотвращать дегидратацию только что отложенных яиц и обеспечивать достаточно интенсивный газообмен эмбрионов, в особенности на поздних стадиях развития¹.

Изучая структуру и химическое строение скорлупы яиц этих аллигаторов, М. Фергюсон установил, что она состоит из нескольких слоев, или зон: внешней плотной кальцифицированной зоны толщиной 100—200 мкм; расположенной под ней зоны «пчелиных сот» (300—400 мкм), получившей свое название из-за ячеистого строения, и, наконец, сосочковой зоны (20—30 мкм), непосредственно прикрепляющейся к мембране яйца. Скорлупа сложена мелкими ромбическими кристаллами кальцита, с разной степенью плотности распределенными в органическом веществе: во внешнем слое, лишенном заметных органических включений, кристаллы кальцита образуют правильные плотные ряды; в слое «пчелиных сот» органики больше, и между кристаллами существуют ячеистые полости, благодаря которым поддерживается связь эмбриона с внешней средой.

В момент откладки яиц во внешнем слое скорлупы образуются мелкие дефекты поверхности. В процессе инкубации они увеличиваются в размере и создают так называемые «кратеры эрозии» с характерными растущими концентрическими кругами. Обнаружено, что вокруг этих «кратеров» на поверхности яйца существуют многочисленные микроорганизмы, продуцирующие кислые метаболиты. Кислоты растворяют кристаллы кальцита во внешнем слое, увеличивая дефекты поверхности и «кратеры». Поступающая извне кислота в конце концов растворяет все кальцинированные слои внешней плотной зоны, но глубже не проникает. Увеличивающиеся в размере «кратеры» располагаются своей широкой основой на зоне «сот», в которой кристаллы кальцита ориентированы более устойчи-

¹ Ferguson M. W. J. — Science, 1981, v. 214, № 4525, p. 1135.

вой к действию кислоты поверхность. Это препятствует полному растворению скорлупы.

То, что образование кратеров эрозии связано именно с действием поступающих из внешней среды кислот, было проверено экспериментально. На поверхность отдельных фрагментов скорлупы свежесложенных яиц, не имеющую дефектов, действовали кислотой H_2CO_3 в течение 24 часов. С помощью электронной сканирующей микроскопии установлена идентичность концентрических кратеров, полученных при такой обработке, и возникающих при естественной инкубации яиц аллигаторов.

Происходящие благодаря микроорганизмам изменения в структуре скорлупы яиц прекрасно адаптированы к гнездовой биологии аллигаторов. К моменту откладки скорлупа яиц имеет высокую первоначальную плотность. Ее незначительная пористость препятствует высыханию яиц. В процессе инкубации внешнее кислотное воздействие разрушает скорлупу, открывая участки зоны «сот» и тем самым облегчая газообмен и испарение влаги.

В тех случаях, когда при искусственной инкубации была нарушена гнездовая среда, нормально развивавшиеся молодые аллигаторы не могли пробить чрезмерно плотную скорлупу яйца и погибали от удушья.

Н. Б. Ананьева,
кандидат биологических наук
Ленинград

Зоология

Как муравьи ориентируются ночью!

Обыкновенные рыжие лесные муравьи (*Formica rufa*) удивительно точно запоминают однажды пройденный путь и не сбиваются с маршрута не только в дневное, но и в ночное время суток. Известно, что, передвигаясь по тропе днем, муравьи пользуются зрением,

а способы их ориентации ночью до последнего времени оставались неисследованными.

Р. М. Кауль и Г. А. Коптева (Научно-исследовательский институт биологии и биофизики Томского государственного университета), разработав оригинальную методику изучения ночной ориентации муравьев, определили ведущий сигнал, с помощью которого им удается сохранять направление движения в темноте. Была проведена серия экспериментов в естественных условиях с колонией лесных муравьев.

Недалеке от муравейника на специальных контрольных полосах, расположенных поперек муравьиной тропы, фиксировались в ответ на различные тестовые раздражители показатели двигательной активности насекомых: скорость передвижения, распределение особей на поперечнике маршрута, соотношение муравьев, идущих в гнездо и идущих из гнезда. Роль зрения определялась двумя способами. В одном случае насекомых частично или полностью изолировали от естественных зрительных раздражителей, помещая над тропой или сбоку от нее разнообразные непрозрачные экраны. В другом случае, наоборот, вводились дополнительные зрительные раздражители: точечный источник света, контрастная плоскость, несколько мелких предметов, размещаемых на некотором расстоянии от пути следования муравьев. Для выяснения роли химических факторов (следовые запахи) на тропе устанавливали круг, который, как только муравьи-фуражиры прокладывали по нему свой маршрут, можно было вращать с различной скоростью.

Проанализировав результаты многочисленных опытов, исследователи пришли к выводу, что при движении в темноте муравьи не используют следовый запах: при повороте круга они не придерживались ранее проложенного маршрута, но сохраняли общее направление движения. Оказалось, что и ночью муравьи ориентируются с помощью зрения и смотрят не только вперед, но и вверх. При этом они способны реаги-

ровать не на мелкие, а на отдельные крупные предметы, если их угловой размер в вертикальной плоскости составляет не менее 45° . Но для ориентации им важен определенный сектор обзора в вертикальной плоскости ($50 \pm 5^\circ$), где на фоне ночного неба выделяются более темные кроны деревьев. Они-то и создают общую визуальную картину маршрута.

Авторы предлагают следующее объяснение механизма ночной ориентации. При первом прохождении маршрута у муравьев закрепляется в памяти некая общая картина контраста освещенности. При повторном прохождении наблюдаемая картина сравнивается с закрепленной в памяти и в нервной системе насекомых вырабатывается сигнал, подобный двумерной функции корреляции. Это позволяет каждой особи сохранять направление движения даже в очень темные ночи, поскольку для муравьев важна не степень освещенности сектора обзора, а наличие контраста.

Зоологический журнал, 1982, т. XI, вып. 9, с. 1351—1358.

Зоология

Химическая коммуникация насекомых

В тех редких случаях, когда линьки насекомых синхронизованы, это происходит обычно под влиянием внешних стимулов. Однако энтомолог Г. П. Лейнаас (H. P. Leinaas; Университет г. Осло, Норвегия) сообщает об ином способе организации линек, который он наблюдал у мелких первичнообескрылых насекомых — коллембол из рода *Hypogastrura*. Представители этого рода образуют большие группы, каждая из которых насчитывает сотни тысяч особей. Ритм линек насекомых в столь больших агрегациях синхронизован и не зависит ни от внешних факторов, ни от возраста коллембол.

Для исследования этого явления автор провел серию ла-

бораторных экспериментов. Было обнаружено, что при выделении двух обособленных подгрупп из одной маточной культуры при первой же линьке между подгруппами наблюдается небольшое расхождение, которое затем быстро увеличивается. При объединении же нескольких разновозрастных культур с несопадающими ритмами линек (их представителей можно было различить по размеру) полная синхронность устанавливалась уже во время второй совместной линьки.

Содержание подопытных насекомых в полной темноте или на пространственно разобщенных участках пищевого субстрата (коры), хотя и в одной экспериментальной камере, не нарушало синхронности линек. Значит, регуляция осуществляется за счет химической, феромонной, связи, не требующей непосредственного контакта насекомых друг с другом. Кроме общественных насекомых, подобный способ взаимного влияния разных особей на развитие друг друга пока известен только у жука *Dermestes*.

Адаптивный характер одновременности линек в совместной живущей группе очевиден: время от времени коллемболы совершают в таких группах координированные миграции, что было бы невозможно, если бы особи линяли асинхронно.

Science, 1983, v. 219, № 4581, p. 193—195 (США).

Зоология

Как кедровки находят свои запасы!

Эксперименты, проведенные независимыми американскими и советскими орнитологами, позволили установить, как ориентируются кедровки при поиске своих кладовых.

Кедровки распространены по всей таежной зоне Северного полушария. В Евразии обитает *Nucifraga caryocatactes*, а в Северной Америке — близкий вид *N. columbiana*. Гнездятся они начинают ранней весной,

когда в лесу еще лежит снег, а своих птенцов, появляющихся в апреле, выкармливают почти исключительно семенами хвойных деревьев. Содержимое многочисленных тайников, устраиваемых в почве на глубине 1—3 см, составляет основу зимнего питания взрослых птиц. Свои кладовые кедровка начинает наполнять с конца августа, переносит туда в подязычных мешках семена хвойных пород. Средняя вместимость такой «сумки» составляет около 15 г, а максимальная не превышает 30,6 г¹. Как показали расчеты, одна азиатская кедровка наполняет к зиме около 30 тыс. кладовых. В неурожайные годы птицы могут использовать запасы, приготовленные позапрошлой осенью. Что же помогает кедровкам безошибочно отыскивать под снегом свои многочисленные кладовые? Находят ли они чужие тайники или каждая из них пользуется только собственными?

Эксперименты, проведенные на северо-западе штата Юта (США) с четырьмя кедровками в условиях неволи, продемонстрировали, что при поиске своих кладовых птицы пользуются зрительными ориентирами. В условиях этого эксперимента кедровки находили только свои собственные запасы. Похожие опыты с птицами, содержащимися в вольерах, были проведены на Северо-Восточном Алтае. Они показали, что кедровки пользуются в основном зрительной памятью, безошибочно разыскивая свои кладовые. Но когда собственные запасы подходили к концу, птицы начинали интересоваться и чужими. Однако поиск орешков, запасенных другими особями, был значительно менее эффективным.

Исследования шведского орнитолога П. О. Сванберга (P. O. Swanberg), проведенные в Южной Швеции, дали сходные результаты². Было отмечено, что кедровка великолепно помнит место, где находится каждый из ее тайников, даже

если он сделан 17 месяцев назад. Она знает, какие из ее хранилищ опустели, а на какие еще можно рассчитывать. Основываясь на феноменальных способностях кедровок, можно предположить, что они планируют собственное потребление зимних запасов, исходя из их объема.

Механизм столь интересных особенностей в поведении кедровок пока не ясен. На основании опытов, поставленных в 1966 г. Н. Л. Крушинской, было выдвинуто предположение, что важную роль в ориентации птиц при отыскании своих запасов играет гиппокамп (старая кора головного мозга). Удаление этого органа у кедровок препятствовало эффективному запоминанию местоположения тайника.

Animal Behaviour, 1982, № 1, p. 30 (Великобритания);

Воробьев В. Н. Кедровка и ее взаимосвязь с кедром сибирским. Новосибирск, 1982.

Зоология

У большой панды — двойня!

Поскольку даже у себя на родине — в Китае — большая панда встречается нечасто, предпринимаются попытки получить от нее потомство в неволе, однако события эти чрезвычайно редки¹. Одно из них недавно произошло в Мадридском зоопарке: живущая здесь самка большой панды (*Ailurus fulgens*) после успешно проведенного искусственного осеменения (использовалась сперма самца панды, содержащегося в Лондонском зоопарке) принесла двойню.

Меньший из близнецов, весивший около 60 г, был немедленно помещен в инкубатор и взят под круглосуточное наблюдение. Однако вскоре он умер от легочной недостаточности. Другой детеныш, родившийся первым, с весом при-

¹ Vander Wall S. B., Balda R. P. — Zeitschrift für Tierpsychologie, 1981, № 3, S. 56.

² Swanberg P. O. — Vår fagelvärd, 1981, № 6, p. 40.

¹ См.: У большой панды — детеныш. — Природа, 1982, № 10, с. 115.

мерно 90 г, остался на попечении матери. Он развивается нормально.

Тем временем администрация Национального зоопарка США в Вашингтоне сообщила, что повторные попытки искусственного осеменения содержащейся там большой панды не удались.

Science News, 1982, v. 122, № 12, p. 18 (США).

Ботаника

Сморчки выращиваются в культуре

Многочисленные любители этих вкусных грибов обычно могут довольствоваться ими лишь короткое время: в Центральной Европе сезон сморчков в лучшем случае длится с марта по май. Сбор сморчков — дело в основном любительское и слишком трудоемкое, чтобы стать коммерчески выгодным. Кроме того, эти грибы очень сильно реагируют на малейшие изменения погоды — несколько более суровую зиму, чуть более резкое потепление, недостаточную увлажненность почвы и т. п. Возможно, однако, что в скором времени сморч-

ки можно будет выращивать в искусственных условиях.

Недавно американскому микологу Р. Оуэру (R. Ower) из Сан-Францисского университета удалось получить в культуре плодовые тела сморчка настоящего (*Morchella esculenta*). Он высевал споры или мицелий на питательную среду, представляющую собой экстракт из прокипяченных зерен пшеницы. Опыт проводился в стерильных условиях. Примерно через 1,5 месяца выращивания при 15—18°C, относительной влажности 85% и слабой освещенности в культуре развивались плодовые тела. В зрелом виде тела имели типичную коническую форму с бороздчатой поверхностью. Средний вес таких искусственно выращенных грибов достигал 13,5 г, а длина — 126 мм.

Mycologia, 1982, v. 74, № 1, p. 142—144 (США).



Экология

Термиты влияют на климат!

Международная группа ученых в составе П. Циммермана и Дж. П. Гринберга (P. Zimmerman, J. P. Greenberg; Национальный центр атмосферных исследований, США), П. Крутцена (P. Crutzen; Институт химии атмосферы им. М. Планка, ФРГ) и С. О. Вандиги (S. O. Wandiga; Университет Найроби, Кения) изучала влияние жизнедеятельности термитов на окружающую среду.

Известно, что кишечник термитов населен простейшими и бактериями, которые расщепляют древесную клетчатку, помогая термитам перерабатывать и усваивать древесину — основной продукт их питания. При переработке древесины в кишечнике термитов образуются метан и другие углеводороды (от C_2 до C_{10}), окислы углерода, водород, серусодержащие производные и др. Общий объем газов, выделяемых термитами в атмосферу Земли, до сих пор оставался неизвестным.

Результаты лабораторных

измерений количества выделяемых термитами газообразных продуктов, а также наблюдения за термитниками в полевых условиях в Гватемале показали, что около 1% потребляемой ими древесины превращается в метан. Термиты распространены на 2/3 земной поверхности, максимальная их плотность в тропических лесах и саваннах достигает 4450 на m^2 . И хотя ни точное число термитников во всем мире, ни численность и биомасса их населения пока еще не определены, однако примерное количество выделяемого этими насекомыми метана, по приблизительным оценкам исследователей, может составлять 165 млн т/год. Если это так, то, значит, около половины всего метана, ежегодно поступающего в атмосферу, — это продукт жизнедеятельности термитов.

Другими источниками этого газа служат рисовые плантации, пресноводные водоемы и болота (где идут процессы анаэробного разложения вещества), а также вулканы, искусственные резервуары горючего газа и газопроводы. Определенное его количество поставляют жвачные животные, у которых, как и у термитов, метан является побочным продуктом пищеварения. Хотя у жвачных животных в метан превращается до 8% потребляемой ими целлюлозы (в сравнении с 1% у термитов), абсолютное количество поставляемого термитами метана значительно больше вследствие их гигантской численности.

Как теперь становится ясным, столь существенное количество метана, поступающего в атмосферу в результате жизнедеятельности насекомых, необходимо учитывать при всех оценках метеорологических и климатических глобальных процессов. Известно, что метан играет немаловажную роль в создании «парникового эффекта»; согласно последним измерениям, содержание метана в атмосфере Земли возрастает примерно на 2% в год.

Что касается двуокиси углерода, то термиты, как оказа-



Плодовое тело сморчка, выращенного в культуре.

¹ См. также: Метан в окружающей среде. — Природа, 1983, № 7, с. 116.

лось, за счет собственного дыхания и разложения целлюлозы в кишечнике могут поставлять в воздушное пространство ежегодно около 55 млрд т CO_2 — втрое больше, чем поступает от сжигания ископаемого топлива.

Science, 1982, v. 218, № 4572, p. 563—565 (США).



Охрана природы

Охрана природной среды во Франции

Хотя, как сообщило Министерство по охране природной среды Франции, расходы на контроль и борьбу с загрязнением воздушного пространства страны уже составляет около 1% ее валового национального продукта, ущерб, причиняемый таким загрязнением, достиг в 1980 г. примерно 100 млрд франков, т. е. приблизительно 4% валового продукта, и продолжает расти.

Власти способствуют мерам по борьбе с загрязнением, в частности, тем, что несколько снижают налоговое обложение компаниям, которые вводят безотходное производство, устанавливают различные фильтры и т. п. Определенными льготами пользуются фирмы по разработке, изготовлению и установке оборудования для контроля за загрязнением среды, для его ограничения и предотвращения. Оборот этой новой отрасли промышленности достиг в 1979 г. почти 30 млрд франков; в ней занято около 370 тыс. человек.

Во Франции создана сеть слежения за состоянием среды обитания человека. Она насчитывает 120 станций, охватывающих почти всю страну, в том числе большинство городов с населением от 100 тыс. человек и выше, а также крупные промышленные комплексы. Поставлена цель в ближайшее время создать такие станции во всех городах с населением более 100 тыс. человек и связать эту сеть водоедами, подключив ее к электронной вычислительной системе,

принадлежащей Министерству по охране природной среды. На сегодня эта сеть регистрирует содержание в атмосфере диоксида серы и взвешенных частиц; в дальнейшем в ее программу будут включены измерения содержания окислов азота, окиси углерода, озона, углеводородов и свинца.

Отмечены существенные недостатки в организации контроля за состоянием атмосферного воздуха в Париже. В частности, отсутствуют сведения о содержании в воздухе свинца, обусловленного главным образом выбросами автомобильных двигателей, работающих на горючем со свинцовыми добавками. Между тем во Франции в бензине содержится 0,40 г свинца/л, тогда как в ФРГ — лишь 0,15 г/л, а в некоторых странах (например, Швеции) принимают меры к полному исключению свинцовых добавок из автомобильного бензина.

Проблема кислотных осадков, по заключению Министерства по охране природной среды, не очень существенна для Франции, поскольку значительную часть территории страны занимают щелочные почвы, способные нейтрализовать высокую кислотность осадков.

Ambio, 1982, v. XI, № 5, p. 322 (Швеция).

Геология

Природный экспресс-метод образования нефти

До сих пор считалось, что преобразование исходного органического вещества в нефть, газ или уголь происходит на протяжении длительного времени и притом на больших глубинах — в зоне катагенеза, где нагрев достигает 100°C и более. Однако анализ геологических материалов по нефтяным и угольным бассейнам Советского Союза, проведенный группой сотрудников геологических институтов Новосибирска, Москвы и Якутска под руководством А. А. Трофимука,

показал, что в ряде бассейнов угли и нефть не погружались в зону катагенеза и геотермический градиент (повышение температуры с глубиной) в районах их залегания не был большим. В Донбассе, например, верхние пласты антрацитов никогда не погружались глубже 2 км. Газовые угли Иркутского бассейна вряд ли погружались и на 500 м; для их углефикации, по существующим представлениям, нужна была температура 100—150°C, следовательно, геотермальный градиент должен был составлять 15—30° на 100 м, что в данном бассейне не наблюдается.

Для названных выше районов установлена значительная сейсмическая активность. Оказалось, что прохождение сейсмической волны в породах стимулирует реакции угле- и нефтеобразования даже в условиях приповерхностных давлений и относительно низких температур. Это подтверждено экспериментами авторов, причем проверялся сейсмотектонический эффект на терригенных (гранулярных) породах — песчаниках и песках.

Сейсмические волны вызывают в породах и минералах микросмещения, в результате которых возникают внутренние механические дефекты с разрывом межмолекулярных и межатомных связей. Это приводит к образованию активных центров с избыточной свободной энергией, которая может расходоваться на энергетические реакции, идущие в этих условиях при температуре среды 20—30°C и при малых давлениях. Поскольку тектонические процессы в энергобалансе Земли составляют примерно 50%, очевидна их роль в геохимических процессах, в том числе — в образовании углеводородов и углефикации растительных остатков. Сейсмотектонические процессы ускоряют не только генерирование углеводородов, но также их миграцию и аккумуляцию: диффузия ускоряется в 40—50 раз, проницаемость пород для жидкостей и газов возрастает почти в 70 раз.

Таким образом, геологически мгновенное воздействие сейсмических волн на много

порядков ускоряет время преобразования органических веществ в породах, приводя к быстрой углефикации растительных остатков и образованию сложных углеводородов. Это и обуславливает резкие изменения степени катагенеза углей в разных частях единой структуры (Приверхоянский прогиб, Зырянский бассейн, Уральский бассейн). Известно и несколько примеров глубокого преобразования органического вещества в современных осадках сейсмических зон.

Тектоническая и сейсмическая активность может стать, таким образом, новым критерием оценки перспектив нефтегазоносности районов. Этот новый взгляд на генерацию углеводородов заставит пересмотреть представления о бесперспективности районов с мало-мощным осадочным чехлом и ряда океанических акваторий, прежде всего срединных хребтов и глубоководных желобов, где генерация углеводородов и формирование залежей нефти и газа как раз и могут идти ускоренными темпами.

Геология и геофизика СО АН СССР, 1982, № 6, с. 72—76.

Геология

84-й рейс «Гломара Челленджера»

Уже дважды, в 66-м и 67-м рейсах¹, с борта «Гломара Челленджера» бурились дно и склоны Центрально-Американского желоба — узкой впадины на восточной окраине Тихого океана, протягивающейся вдоль линии субдукции (пододвигания) океанской литосферной плиты под континент. Выводы о тектонике этой структуры, сделанные по результатам прошлых рейсов, оказались противоречивыми: участники 66-го рейса говорят о том, что в процессе субдукции осадочные отложения соскребаются с погружающейся плиты и скучиваются у подножия

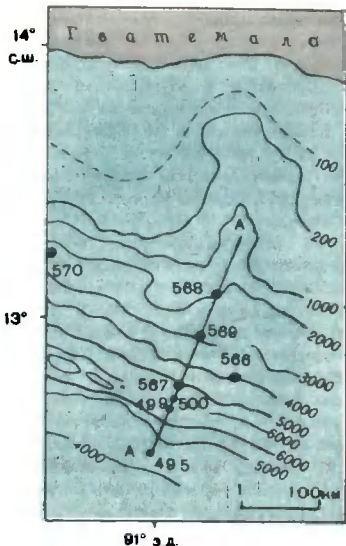


Схема расположения скважин в районе Центрально-Американского желоба. Разрез А—А проходит поперек склона желоба [там же, где проходил разрез 67-го рейса — скважины 495, 499, 500]. Скважина 565 на схеме не показана; она находится южнее основного разреза, у п-ова Никойя [Коста-Рика].

континентального склона, а по данным 67-го рейса скучивания не происходит. Чтобы разобраться в этой ситуации, было решено пробурить на континентальном склоне желоба новую серию скважин. Помимо решения тектонических задач, предстояло исследовать обнаруженные здесь ранее залежи газогидратов — твердых гидратирован-

ных углеводородов. В экспедиции (январь—февраль 1982 г.) кроме США принимали участие специалисты из Великобритании, Франции, ФРГ и Японии; научное руководство осуществляли Ж. Обуэн (J. Auboin, Франция) и Р. фон Хюне (R. von Huene, США)².

Всего в 84-м рейсе пробурено 11 скважин в шести точках, которые расположены на склоне желоба, обращенном в сторону Центральной Америки: одна точка — у п-ова Никойя (Коста-Рика) и пять — у побережья Гватемалы. Разрез, проходящий поперек склона, начинается скважиной 567 у его основания, в 3 км от оси желоба, и завершается скважиной 570 на его верхней части.

Все скважины разреза вскрыли темносерые алевроитские глины терригенного происхождения с большей или меньшей примесью биогенного кремнезема. Иногда в этих осадках встречаются слои вулканического пепла (свидетельствующие об извержениях вулканов на соседнем континенте), а в верхней части склона — слои песков с галькой. Мощность этих типично склоновых отложений невелика — обычно 300—400 м. Их возраст неоген-четвертичный, т. е. они отложились примерно за последние 10 млн лет. Признаков скучивания осадков не обнаружено.

Под этими осадками залегают породы сложного состава, имеющие возраст от позднего мела до миоцена. Среди них обращают на себя внимание зда-

Распиленный образец газогидрата из керна скважины 570.



² J O I D E S Journal, 1982, v. VIII, № 2, p. 4.

¹ Природа, 1980, № 2, с. 114; № 4, с. 121.

фогенные отложения, образование которых связано с разрушением пород, обнажающихся на подводных склонах. Это брекчии, песчаники и илы, состоящие из обломков серпентинитов, верхнемеловых известняков, олигоценных и эоценовых глин и продуктов их тектонического перетирания.

Всю осадочную толщу подстилает фундамент, сложенный тектонически раздробленными породами офиолитовой ассоциации — измененными базальтами, габбро, диабазами, серпентинизированными перидотитами и серпентинитами. Офиолиты в теле фундамента континентального склона Центральной Америки относятся к древнему (допозднемеловому) этапу развития: они заняли свое современное положение и были раздроблены еще до начала формирования неоген-четвертичной зоны субдукции.

Итак, все скважины, прошедшие осадочный слой на континентальном склоне желоба, вскрыли под ним породы офиолитовой ассоциации. Океанская Кокосовая плита пододвигается под сложенную офиолитами континентальную окраину Гватемалы без скупивания осадков на подножии склона; очевидно, осадки уходят в зону субдукции вместе с океанской корой.

Участники рейса реконструируют историю тектонического развития континентальной окраины в виде трех этапов: в позднем мелу на отложения юры и мела надвигаются породы офиолитового комплекса и в последующем перекрываются осадками кампанского и маастрихтского ярусов; в палеоцене, как установлено материалами наземных исследований, происходят мощные поднятия, предшествующие тектоническому перемещению офиолитов вместе с перекрывающими их меловыми отложениями в нынешнее положение; наконец, в позднем олигоцене начинается процесс субдукции, сопровождающийся поднятиями континентального блока, зарождением на нем зоны андезитового вулканизма, формированием глубоководного желоба, на склоне которого стала накапливаться толща терригенных илов. Большую роль

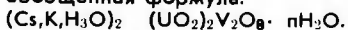
в образовании осадков играли процессы переотложения продуктов подводного размыва коренных пород, обнажающихся на склоне желоба, в том числе офиолитов и древних осадков.

И. О. Мурдмаа,
кандидат геолого-минералогических наук
Москва

Минералогия

Открыт минерал маргаритасит

Группа исследователей из Геологической службы США изучала образцы руд, взятые из ураноносных отложений в районе Ренья-Бланка (Мексика). Было выяснено, что помимо ранее известных урансодержащих минералов, в том числе широко встречающегося карнотита, существует его богатая цезием разновидность, которой дано название маргаритасит. Его обобщенная формула:



Маргаритасит встречается в виде рассеянных минеральных агрегатов, заполняющих поры в осадочных отложениях, или же замещает кристаллические формы в лежащих под осадками риолито-дацитовых туфо-брекчиях олигоценового возраста. Исследователи считают, что урансодержащие минералы на месторождении Ренья-Бланка образовались в результате гидротермального процесса. Лабораторные исследования подтвердили, что богатая цезием разновидность карнотита образуется при высоких температурах — около 200 °C; при более низких температурах (около 80 °C) обогащения цезием практически не происходит.

Таким образом, открытие этого минерала приводит к следующему выводу: с одной стороны, маргаритасит служит индикатором гидротермального происхождения того или иного месторождения; с другой стороны, это важное сырье для получения цезия и урана следует искать и на открытых уже

месторождениях, относительно которых известно, что они образовались гидротермальным путем.

American Mineralogist, 1982, v. 67, p. 11—12; EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 1983, v. 64, № 4, p. 37—38 (США).

Палеоантропология

Еще одно звено в истории прачеловека

Группа сотрудников Национального музея Кении (Найроби), руководимая К. Чепбои (K. Cherboui), при раскопках в районе холмов Самбуру, на севере центральной части страны, обнаружила верхнюю челюстную кость с пятью зубами. Находку изучал известный палеоантрополог, директор названного музея Р. Лики (R. Leakey). Судя по строению этих остатков, существенно отличающихся от всех известных до сих пор остатков древних предков человека, они относятся к наиболее слабо изученному в его эволюции периоду — между рамапитеком (12—13 млн лет назад) и австралопитеком афарским (около 4 млн лет назад).

Х. Исида (H. Ishida; Университет в Осаке, Япония), которому для независимого геологического датирования были отправлены образцы песчаников, содержащих находку, определил, что возраст остатков около 8 млн лет.

Таким образом, получено уникальное свидетельство эволюции прачеловека в период между 12 и 4 млн лет назад, заполняющее важный пробел непосредственно перед тем периодом, когда гоминиды перешли к прямохождению и ветви генеалогического древа человека и обезьяны разошлись между собой.

Science News, 1982, v. 122, № 11, p. 164 (США).

О гносеологических аспектах развития науки

В. С. Черняк,
кандидат философских наук

Москва



В. А. Лекторский. СУБЪЕКТ. ОБЪЕКТ. ПОЗНАНИЕ. М.: Наука, 1980, 358 с.

Ученые и философы всегда пытались дать себе отчет в том, что такое научное знание, каковы способы его получения и обоснования, критерии его истинности и отличия от других форм познавательной деятельности.

Эти и другие подобные вопросы приобрели особую остроту в настоящее время, когда резко возрос интерес к разработке комплексной теории науки как социального феномена, оказывающего могущественное воздействие на ход общественных и природных процессов. Видное место в массиве такого рода публикаций зани-

мает монография В. А. Лекторского, посвященная широкому классу гносеологических и методологических проблем, сгруппированных вокруг стержневой проблемы теории познания — взаимоотношения субъекта и объекта познавательной деятельности.

Что же составляет элементарную структуру познавательной деятельности? В основе ее лежит связь познающего человека (субъекта) и познаваемого предмета (объекта). Одновременно предполагается и ясное понимание того, что знание об объекте непосредственно не совпадает с самим объектом, отличается от него.

Философская рефлексия над данной познавательной структурой, как свидетельствует об этом история мысли, отнюдь не была однозначной. В своей книге В. А. Лекторский исследует различные подходы к рассмотрению теоретико-познавательной тематики, характерные для немарксистской философской мысли, и показывает их недостаточность.

Наибольший интерес представляет второй раздел книги, посвященный анализу марксистского подхода к познанию. Автор, в частности, развивает мысль о том, что познавательные нормы и операции формируются в процессе практической деятельности, в ходе которой человек ставит между собой и внешним миром особые предметы, созданные людьми и выполняющие роль инструментов, орудий деятельности.

С этой точки зрения история человеческой культуры может быть представлена как развитие определенной системы предметов-посредников. Степень овладения этими предметами-посредниками прямо соответствует степени понимания смыслового содержания, объективированного в них, идет ли речь о научных текстах, инструментах или иных предметах, воплощающих социально-куль-

турный смысл человеческой деятельности.

По определению предметно-посредники являются формой объективированного знания, которое в ряде существенных пунктов отличается от знания, присущего индивиду. Наиболее важной чертой объективированных форм знания, в частности научных текстов, является то, что в них заключено такое содержание, которое в данное время неизвестно никому из тех, кто пользуется этим знанием. Это содержание может не осознаваться тем, кто произвел это объективированное знание — творцом научной теории. Выявляется это содержание лишь в ходе исторического развития познания.

Важное методологическое значение имеет развиваемая автором мысль о том, что открытие новых типов посредников знаменует выход познания на иной содержательный уровень. Так, переход от устной речи к письменной, распространение книгопечатания являются поистине революционными переломами в развитии культуры. Научная революция XVI—XVII вв. связана не только с изменением мировоззренческих установок античности и средневековья, но также с созданием нового типа посредников — математического языка науки и соответствующего материального воплощения его в научных измерительных и технических устройствах того времени.

Однако при всем том, что позволяет говорить о предметах-посредниках как явлениях функционально однородных, необходимо, как представляется автору этих строк, учитывать и существенные различия между ними. Если рассуждать, к примеру, в терминах брэдженовского операционализма (подробно рассмотренного автором), то существует очевидное различие между «карандаш-

но-бумажными» и, скажем, операционально — измерительными процедурами в деятельности ученого. В первом случае мы имеем дело с теорией «на бумаге», во втором — с теорией, воплощенной в эксперименте, хотя обе процедуры суть формы объективизации знания.

Отличительной особенностью манеры изложения В. А. Лекторского является его умение стягивать в определенные тематические узлы внешние как будто отдаленные проблемы. Такой способ обсуждения проблем, их взаимная проекция друг на друга позволяет автору и читателю преодолевать сложившиеся стереотипы их рассмотрения и по-новому воспринимать их содержание. В результате обнаруживается подчас скрытый подтекст в вопросах, которые, казалось бы, давно уже ясны. Так, обсудив концепцию Т. Куна о несоизмеримости парадигм, автор показывает ее сродство с гипотезой лингвистической относительности Сепира—Уорфа, согласно которой представители различных по своей грамматической структуре языков, по существу, живут в разных мирах.

Проблема еще больше заостряется автором при обсуждении наиболее, пожалуй, радикальной версии тезиса о возможности альтернативных концептуальных миров, принадлежащей видному американскому логичу и философу У. Куайну. Согласно концепции «онтологической относительности» Куайна, группы носителей разных языков (теорий) не только живут в «разных мирах», но и не замечают этого, поскольку истолковывают чужой мир по аналогии с собственным. Кун в целом разделяет концепцию Куайна, хотя и пытается ее как-то смягчить в «Добавлении 1969 г.» к очередному изданию «Структуры научных революций». Он полагает, что работа историка науки состоит именно в том, чтобы перевести на язык определенного научного сообщества устаревшие научные тексты.

«Значит ли это, что придерживающиеся разных «парадигм» сообщества ученых живут в «разных мирах» и не могут

полноценно общаться друг с другом?» — формулирует проблему автор (с. 240). И показывает в книге, что вовсе нет. Хотя новая научная теория или «парадигма» несет в себе принципиально иное содержание, не выразимое с помощью старых концептуальных средств, все же «между разными теориями и «парадигмами» существуют отношения непрерывности и преемственности определенных смыслов, имеется общий фон знания. Все это исключает возможность приравнивания «парадигм» к абсолютно различным «альтернативным мирам». Не будучи переводимыми, разные «парадигмы» тем не менее соизмеримы» (с. 242). «Поэтому ученый, изучающий историю физики, может понять не только ньютоновскую, но и аристотелевскую «парадигму» (там же).

Одной из ключевых тем книги является проблема обоснования и развития знания. Известно, что позитивистская философия науки основной упор делала на обоснование готового (завершенного) знания, сознательно оставляя в стороне проблему генезиса и развития научных идей, теорий и т. д. В. А. Лекторский убедительно показывает, что существует тесная связь между проблемами обоснования и развития научного знания.

Но прежде чем ввести читателя непосредственно в круг этих вопросов, В. А. Лекторский начинает с упоминания любопытного феномена сознания, давно отмеченного психологами. Он заключается в том, что субъект не может одновременно думать или говорить о чем-то и одновременно (не попеременно) делать это думание объектом своей рефлексии. Эта особенность сознания была ярко описана датским писателем П. Мёллером в новелле «Похищения датского студента», которую в свое время Н. Бор часто цитировал для иллюстрации своего принципа дополнителности. Мёллеровский герой признается: «Моя бесконечная рефлексия лишает меня возможности достичь чего-нибудь в жизни»¹.

Если бы наука находилась в ситуации Мёллеровского героя,

она не сдвинулась бы с места. Там, где останавливается рефлексия над знанием, проходит граница, отделяющая явное знание (над которым рефликтируют) от скрытых его предпосылок, составляющих так называемый фон неявного знания (посредством которого производится рефлексия). «Рефлексия над «обосновательным слоем» предполагает принятие некоторого другого знания в качестве неререфликтируемого в данном контексте анализа» (с. 258).

Для историка науки понимание диалектической взаимосвязи явного и неявного знания имеет первостепенное значение. Дело в том, что условия культуры и науки в тот или иной период всегда ставят определенные границы рефлексии: для каждой эпохи существуют свои очевидности, за которые не переходит рефлексия исследователя. Только истории дана привилегия превратить некогда неявное знание в явное.

Крупные исторические эпохи в истории мысли выделяются именно тем, что очевидно — границы, отделяющие явное знание от неявного, разбиваются и ставятся под вопрос, и тогда самосознание науки преодолевает поставленные границы, делая их предметом критического анализа. Так, теория относительности позволила выяснить такие скрытые предпосылки классической механики, которые вообще не имели в виду ее творцы. «Таким образом, — пишет В. А. Лекторский, — в итоге рефлексии происходит выход за пределы существующей системы знания и порождение нового знания (как явного, так и неявного). То, что первоначально казалось (например, в математике) чисто обосновывающей процедурой, в действительности является своеобразным способом развития самого содержания знания, одним из важных путей разработки теории» (с. 261).

Важная идея В. А. Лекторского состоит в том, что носителем коллективного познавательного процесса не является

¹ Цит. по кн.: Холтон Дж. Математический анализ науки. М., 1981, с. 180.

ни индивидуальный субъект, ни даже их совокупность. «Этим носителем можно считать коллективного субъекта, понимая под ним социальную систему, не сводимую к конгломерату составляющих ее людей» (с. 280).

Одно из перспективных направлений в разработке этой проблематики состоит в том, чтобы показать, как коллективный субъект на разных уровнях его иерархии определяет творческую деятельность отдельного ученого. Наибольшая трудность здесь состоит в построении конкретных моделей сложного диалектического взаимодействия индивидуального и коллективного сознания, приводящего к изменению на обоих полюсах познавательной деятельности.

К сожалению, рамки данной работы не позволяют затронуть другие аспекты гносеологической концепции, развиваемой В. А. Лекторским, которые представляют большой теоретический интерес.

Парад самоцветов Урала

Т. Б. Здорик,
кандидат геолого-минералогических наук

Д. А. Минеев,
доктор геолого-минералогических наук
Москва



В. Н. Черных, В. Б. Семенов.
АГАТ. Сер. «Камни Урала». Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1982, 160 с.

Прекрасно иллюстрированные и серьезно аннотированные книги-альбомы серии «Камни Урала», выпускаемые Средне-Уральским издательством, возникли на слиянии трех потоков информации. Они содержат традиционные сведения о камне, извлеченные из анналов классических «каменных» наук — минералогии и петрографии; оригинальный материал по истории открытия и разработки уральского камня, почерпнутый в результате разысканий в архивах; ретроспективную панораму камнерезного и ювелирного искусства разных веков и народов.

Первой ласточкой, возвестившей об актуальности этой темы, явился альбом «Яшма»¹. На опыте этой книги читатели да, вероятно, и сами издатели убедились в том, насколько интересно сочетание в одной книге столь несхожих на первый взгляд аспектов изучения и восприятия камня: минералогического, исторического и искусствоведческого. Но именно это сочетание позволило увидеть яшму и как неотъемлемую часть природы Урала, и как великолепный материал камнерезного искусства, сыгравший заметную роль в истории культуры. Хотя «Яшма» была встречена читателями и любителями камня с энтузиазмом, но, как показала практика, формат этого альбома, оригинальный и эффектный сам по себе (60×90, 1/12), оказался нецелесообразным для остальных серийных выпусков, и собственно серия «Камни Урала» в том виде, в каком она будет продолжена, открывается альбомом «Агат», выпущенным издательством по макету художника А. А. Рюмина.

Почему именно агату выпала честь открыть «парад самоцветов» Урала? Казалось бы, с Уральскими горами в большей степени ассоциируется малахит или такой истинно уральский камень, как орлец-родонит. Альбом «Агат» убеждает читателя в том, что такие представления несколько устарели.

«Один за другим,— пишет В. Б. Семенов в предисловии к книге,— открываются, изучаются, подсчитываются агаты рек Ляли, Кедровки, Назьмы, Синары, Карболки, окрестностей Магнитогорска... Пришло время показать его и рассказать о нем» (с. 5). С этой задачей историк и искусствовед В. Б. Семенов, литератор В. Н. Черных и весь коллектив, участвовавший в издании, справились с блеском. От «портретов» разнообразнейших уральских агатов — розового синарского, звездчатого магнитогорского, тандыкского с его характерным чередованием голубых и коричневых полос — трудно оторвать взгляд.

Однако составители альбома не ограничиваются лишь показом каменных красот. Книга многопланова и многослойна, как и сам агат, ее герой. Вслед за первым запоминающимся знакомством с обликом уральских агатов читатель погружается в историю открытия его месторождений. Впервые составленная карта-схема размещения выходов агата — результат скрупулезной работы в архивах. Она буквально оживает при чтении раздела «Хроника уральского камня», который, кроме исторических сведений, включает около пятидесяти ландшафтных снимков.

Не менее интересен и оригинален раздел «Века и камень», представляющий обширную антологию агатовых изданий. При подготовке этого раздела В. Б. Семенову радушно содействовали ознакоми работники лучших музеев страны — Государственного Эрмитажа, Музея антропологии и этнографии в Ленинграде, Государственного Исторического музея, музея Ленинградского горного института, Центрального музея Революции СССР, Музея исторических драгоценностей УССР.

Необычно приложение к альбому; в нем приведены пространные выдержки из старых книг о камне, начиная с «Естественной истории» Плиния (I в. н. э.) и кончая обширными цитатами из «Минералогии» В. М. Севергина (1806—1807 г.).

Хочется остановиться и еще на одной особенности это-

¹ Семенов В. Б. Яшма. Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1979.

го издания: по существу, аннотации к фотографиям (и минералогического, и исторического, и искусствоведческого раздела) представляют собой основной текст книги. Они составлены весьма детально и содержат, как правило, интересную и богатую научную информацию. Однако при этом нельзя не отметить, что даже самые подробные и квалифицированные комментарии к фотографиям все же не способны заменить вводного текста к разделам. А такой текст отсутствует. Особенно остро этот недостаток ощутим в разделе «Происхождение агатов». Генезис агатов — сама по себе сложная и на сей день неоднозначно трактуемая проблема. Естественно, читатель, рассмотрев полтора десятка снимков, демонстрирующих прожилки, линзы, миндалины агата и халцедона (некоторые из «генетических» объектов к тому же подобраны не вполне удачно), не может получить даже общего представления о том, что известно, а тем более о том, что неизвестно об образовании агатов.

Думается, что такие разделы, как «Халцедон», «Виды агата», «Происхождение агата», «Века и камень», также заметно выиграли бы, если бы содержали вводные статьи. Раздел «Века и камень», охватывающий исторический период с VI в. до н. э. по конец

70-х годов XX в., нуждается, кроме того, в более детальной рубрикации.

В ряде случаев кажется нецелесообразным применение новой, по существу, минералогической терминологии. Некоторые термины, предлагаемые В. Б. Семеновым, не лишены логики: действительно, «монокристаллические» агаты образуют субпараллельные концентрические слои вокруг одного центра, а «поликристаллические» имеют несколько подобных центров. Но термин «кразис-агат» (от греч. слова "krasis" — смешанный), применяемый для агатов, сочетающих в себе и концентрическую и прямослойную полочатость, в принципе не вызывал бы возражения, если бы в минералогии уже давно не укоренился для подобных агатов термин «уругвайский агат». Правда, в отличие от последнего, термин «кразис-агат» шире: такой агат может также включать участки мохового или сагитового. Однако следует очень осторожно прибегать к введению новой терминологии в таких традиционных науках о камне, как минералогия или петрография.

Несмотря на то что авторы в целом справились с минералогическими разделами книги и их комментариями и здесь остаются содержательными и грамотными, в этой части, к сожалению, ощущается

отсутствие в авторском коллективе специалиста-минералога. Это сказывается и в не всегда удачном подборе материала. Так, в разделе «Халцедон» есть невыразительные, на наш взгляд, случайные снимки. Примером может служить хотя бы гелиотроп (фото 11), вовсе не имеющий столь характерных для этой разновидности ярко-красных включений.

К недостаткам книги следует отнести и такой не вполне объяснимый факт: статья «Агат», написанная В. Н. Черных и сама по себе содержащая познавательный материал, рассчитанный на массового читателя, представляет собой абсолютно автономный текст, никак не связанный ни с планом, ни со стилем издания в целом, а предисловие В. Б. Семенова — составителя книги и автора обширного комментария к снимкам — слишком кратко, чтобы восполнить этот пробел.

Закljučая этот экскурс в столь не стандартную книгу, не хотелось бы тривиально заявлять, что «упомянутые недостатки не снижают...» Безусловно, несколько снижают! Перечислить их в отзыве на интересную и необычайно красивую книгу мы сочли необходимым, дабы в будущих выпусках серии издательства и авторы смогли избавиться от досадных, но вполне поправимых огрехов.

НОВЫЕ КНИГИ

Организация науки

А. П. Александров. НАУКА — СТРАНЕ. Статьи и выступления. Отв. ред. В. А. Лёгасов. М.: Наука, сер. «Наука, мировоззрение, жизнь», 1983, 221 с., ц. 1 р. 20 к.

Сборник статей и выступлений Анатолия Петровича Александрова, относящихся к периоду 1975—1983 гг., интересен прежде всего глубокими размышлениями о наиболее существенном в развитии современной науки, о ее связи с важнейшими экономическими и социальными задачами, о ее роли

в борьбе за сохранение мира на Земле.

Небольшой по объему, этот сборник, естественно, не может охватить всей многогранной деятельности президента Академии наук СССР.

Вошедшие в издание выступления А. П. Александрова на XXVI съезде партии, XIX съезде комсомола, на сессиях Верховного Совета СССР, собраниях Академии наук, высказывания в различных органах массовой печати, а также историко-биографические публикации рисуют его как выдающегося государственного, научного и общественного деятеля. Вклю-

ченные в сборник научно-популярные статьи — по энергетике и приборостроению, применению ядерной энергии в мирных целях и другие — раскрывают исключительное умение А. П. Александрова говорить интересно и просто о сложных научных и философских проблемах естествознания.

Большое внимание привлечет и та часть книги, в которой А. П. Александров рассказывает о своих учителях и соратниках — С. И. Вавилов, А. Ф. Иоффе, И. В. Курчатов, М. В. Келдыше. Это яркие портреты; они окрашены лич-

ным отношением автора, сопровождаются интересными деталями, которые мог знать только тот, кто близко был знаком с этими учеными и связан с ними совместными работами большого теоретического и практического значения.

С интересом прочтут этот сборник все те, кого волнуют проблемы развития советской науки.

Астрофизика

АСТРОФИЗИКА И КОСМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА. Под ред. Р. А. Сюняева. М.: Наука, Главн. ред. физ.-мат. лит., 1982, 320 с., ц. 2 р. 90 к.

В этом сборнике обзорных статей, отражающих последние достижения советской астрофизики и космической физики, представлены работы ведущих специалистов. В числе авторов книги — академик Я. Б. Зельдович, член-корреспондент АН СССР И. С. Шкловский, ряд интенсивно работающих теоретиков и экспериментаторов из Москвы и Ленинграда, наблюдателей из обсерваторий Крыма и Ташкента.

Обзоры посвящены наиболее актуальным проблемам космологии: ядрам галактик, сверхновым звездам, межконтинентальной радиоинтерферометрии, межзвездным молекулам и межзвездной среде в окрестностях Солнца. В книге рассказывается также и об открытии нейтронной звезды межпланетными автоматическими станциями «Венера-11» и «Венера-12».

По соглашению с международным издательством "Harcourt Academic Publishers" (Швейцария) этот сборник одновременно выпущен в США как первый том серии Е («Астрофизика и космическая физика»). «Советских научных обзоров». В 1983 г. на английском языке выйдут второй, третий и четвертый тома этой серии. Параллельно они будут издаваться на русском языке в ВИНТИ как очередные тома «Итогов науки и техники» (в серии «Астрономия»).

Сборник рассчитан на астрономов и физиков, а также специалистов, работающих в смежных областях.

Биология

Д. Адам. ВОСПРИЯТИЕ, СОЗНАНИЕ, ПАМЯТЬ. Размышления биолога. Пер. с англ. Н. Ю. Алексеев. Под ред. и с предисл. Е. Н. Соколова. М.: Мир, 1983, 152 с., ил., ц. 75 к.

Известный венгерский нейрофизиолог Д. Адам в своей монографии обобщает современные данные в области нейрофизиологии и экспериментальной психологии, представляя их в рамках психофизиологии как единого целого.

В книге рассматриваются механизмы восприятия (восприятие электромагнитных волн, механических колебаний, положения тела в пространстве и др.), обучения, памяти. Значительное место уделяется функциональным состояниям мозга — механизмам активного бодрствования и сна. В связи с проблемой активного бодрствования и внимания обсуждается проблема сознания. Автор выделяет здесь два аспекта: оптимальный уровень активации и акт вербализации. Подчеркивается, что сознание означает регистрацию событий не только в непосредственном восприятии, но и в речевой сфере. Доказательством в пользу такого утверждения автор считает результаты опытов: когда сигнал попадает только в правое, субдоминантное, полушарие, он не вербализуется и не осознается. Осознание сигнала связано с участием левого полушария, обеспечивающего его вербализацию. Много места в книге уделено современным экспериментальным моделям.

Кому предназначена эта книга? При написании ее «автор имел в виду интересы... философа и учителя, которым для их работы нужно больше знать о биологии процессов отражения в головном мозгу и о механизмах памяти; физика и инженера-электрика, которые хотели бы применить современные знания по теории информации или связи к исследо-

ванию мозга. Даже старшее поколение биологов, врачей и психологов, интересующееся последними результатами изучения мозга, возможно, будет радо получить сжатую и «удобоваримую» сводку такого рода, чтобы освежить и пополнить свои знания по нейрофизиологии».

Биология

А. Гэлстон, П. Давис, Р. Сэттер. ЖИЗНЬ ЗЕЛЕНОГО РАСТЕНИЯ. Пер. с англ. М. Г. Дунинной и Е. И. Кошкина. Ред. и авт. предисл. Н. П. Вокресенская. М.: Мир, 1983, 552 с., ил., ц. 2 р. 90 к.

Автор первого издания этой книги, профессор Йельского университета А. Гэлстон, крупный специалист в области роста растений и прекрасный педагог, «привлек к работе над этим новым ее вариантом двух своих коллег с иной научной подготовкой, иными экспериментальными навыками, иным опытом и кругозором». В результате удалось охватить и такие темы, которые обычно по данному предмету не затрагиваются: физиология стресса в растительном мире, защита растений от болезней и вредителей, фитофизиология в ее связи с сельскохозяйственной практикой, потенциальный экономический интерес для человечества тех или иных растений и др.

Эта книга в достаточно концентрированной форме, доходчиво, с учетом новейших знаний, рассматривающая практически все стороны жизни зеленого растения, в первую очередь нужна физиологам растений и агрономам, но ее с пользой прочтут также биохимики, ботаники и просто интересующиеся проблемами биологии.

Книга прекрасно оформлена. Многочисленные хорошо выполненные микрофотографии, рисунки, оригинальные схемы значительно облегчают понимание материала. Она может поэтому служить и хорошим учебным пособием для преподавателей и студентов биологических и сельскохозяйственных факультетов высших учебных заведений.

География

Э. Хиллари, Д. Дойг. НА ХОЛОДНЫХ ВЕРШИНАХ. Пер. с англ. Л. А. Громоной. Предисл. и примеч. Е. Б. Гиппенрейтера. Послел. А. А. Хуторянского. М.: Наука, Главн. ред. вост. лит., 1983, 288 с., ил., ц. 1 р. 60 к.

«...Для шерпа способность йети усилием воли делаться невидимым — такая же важная часть описания этого существа, как и его предполагаемые очертания и размеры. Полуживотное-получеловек-полудемон — это и есть йети. Его принимают так же спокойно и некритически, как мы в детстве принимаем Деда Мороза.

Участникам моей экспедиции — врачам, ученым, зоологам и альпинистам в равной степени было бы приятно верить в существование йети, однако после того, как рухнули основные свидетельства в поддержку легенды, они уже не могли относиться к йети иначе, как к захватывающей сказке...» — так отвечает Э. Хиллари, первый покоритель Эвереста и руководитель Международной научной и альпинистской экспедиции 1960—1961 гг. в Гималаи, на одну из поставленных в ее программе задач: «доказать или опровергнуть существование йети» (снежного человека).

Однако поиски «снежного человека» не были самой важной целью экспедиции; ее главные усилия были направлены на физиологические исследования высотной акклиматизации. В ходе экспедиции получены уникальные данные о том, что происходит с организмом человека при длительном пребывании на очень больших высотах. Помимо этих исследований, проводились метеорологические, гляциологические и радиационные наблюдения. Программой научных работ руководил англичанин Г. Пью — один из крупнейших специалистов в области высокогорной медицины и физиологии.

Книга состоит из двух частей. Первая, написанная журналистом и лингвистом Д. Дойгом, повествует о поисках следов «снежного человека», о жи-

ни, обычаях и мифологии гималайской народности — шерпов. Вторая написана Э. Хиллари и посвящена тому, как выполнялась основная задача экспедиции.

В послесловии читатель более подробно знакомится с теми уникальными представлениями животного мира Гималаев (большая панда, серау и горал, лангуры, гималайские зайцы и др.), о которых упоминается на страницах книги.

Археология

ДРЕВНИЕ ПАМЯТНИКИ КУЛЬТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ СССР. Сборник научных трудов. Л.: Государственный Эрмитаж, 1982, 191 с., ц. 1 р.

В сборнике приведены итоги работ археологических экспедиций Государственного Эрмитажа. Эрмитаж — не только собрание первоклассных произведений мирового искусства, но и традиционно археологическое учреждение. Из шести научных отделов музея четыре непосредственно связаны с полевыми археологическими исследованиями. Их сотрудники ежегодно проводят более 20 экспедиций. Изучаются почти все категории памятников — от некрополей и поселений до древнейших крепостей и городов, включая объекты, исследуемые подводной археологией. Временной диапазон изученных памятников — от эпохи палеолита до средневековья, а география экспедиций охватывает территорию от Приладожья до южных рубежей Средней Азии и от Карпат до Алтая.

Чтобы как можно скорее ввести в оборот новые археологические коллекции, Эрмитаж выпускает сборники трудов, которые одновременно представляют собой и отчеты о деятельности экспедиций, и законченные исследования, дающие интерпретацию конкретных памятников и включающие его в контекст той или иной историко-археологической проблемы.

В статье Г. И. Смирновой «Закрытые предкифские комплексы у села Днистровка-Лука» приводится редчайший в археологической практике случай:

курган чернолесской культуры был воздвигнут над жилищем той же культуры; это позволяет уточнить хронологию памятников. В других статьях ставятся вопросы о связи европейских гуннов и азиатских хунну, о существовании в Фергане особого округа, равнинное население которого хоронило своих умерших на адырах (в предгорьях Тянь-Шаня), об организации и методике подводных археологических разведок свайных поселений в Псковской и Смоленской областях, относящихся к III—II тысячелетиям до н. э.

История науки

А. А. Макареня, А. И. Нутрихин. МЕНДЕЛЕЕВ В ПЕТЕРБУРГЕ. Л.: Лениздат, сер. «Выдающиеся деятели науки и культуры в Петербурге — Петрограде — Ленинграде», 1982, 287 с., ц. 1 р. 20 к.

Дмитрий Иванович Менделеев и Петербург (куда в 1850 г. он приехал выпускником тобольской гимназии, чтобы остаться навсегда) — понятия нерасторжимые. Главный педагогический институт, Технологический институт, Университет, Палата мер и весов — таковы важнейшие учреждения города на Неве, в стенах которых протекала научно-педагогическая деятельность Менделеева. Об этом еще раз напоминают нам авторы, один из которых, А. А. Макареня, был директором Музея и Архива Д. И. Менделеева при Ленинградском университете. Книга вышла в свет в преддверии исполняющегося в феврале 1984 г. 150-летия со дня рождения творца периодического закона.

Ученый мир столицы, принявший молодого ученого в свое сообщество, стал животворной средой, взрастившей гениального естествоиспытателя. Он писал: «Едва ли нужно говорить о пользе, о важном значении, о возбудительности всякого сообщения мыслей, всякой встречи, всякой беседы, в которой вы слышите разноречивые мнения, собираете данные, развиваетесь... Публичность и взаимное сообщение тем необходимее в деле науки, где ничто не решается произволом человека, где царствует только одна истина» (с. 39).

Открытие периодического закона в 1869 г. посвящена глава «Триумф гения», из которой следует, что оно не было внезапным озарением, а завершило длившиеся более 15 лет исследования и размышления Д. И. Менделеева. В книге отведено достаточно места личной жизни ученого. Рассказано и о том, как и почему он не был избран академиком Петербургской Академии наук.

История науки

А. И. Еремеева. РОЖДЕНИЕ НАУЧНОЙ МЕТЕОРИТИКИ. История Палласова Железа. М.: Наука, 1982, 253 с., ц. 3 р. 10 к.

Укоренилось мнение, что метеоритика возникла лишь тогда, «когда немецкий ученый Э. Хладни, изучив метеорит Палласова Железа, найденный в Сибири в 1749 г., впервые доказал космическое происхождение этого метеорита и выдвинул гипотезу происхождения метеоритов» (БСЭ, т. 16, с. 148). До выхода в свет основополагающего труда Хладни «О происхождении найденной Палласом и других подобных ей железных масс и о некоторых связанных с этим явлениях природы» (Рига, Лейпциг, 1794 г.) были высказаны четыре типа догадок о генезисе сибирской находки: самородное железо, образовавшееся либо осадочным путем, либо вследствие выплавки подземным огнем; вулканический продукт; крица от древней плавки; разнородность фульгури или выплавка из руды при лесном пожаре.

Суждения эти выносились как на основании описания, данного петербургским академиком П. С. Палласом, так и изучения образцов, отколотых от массы метеорита и разосланных Академией наук научным учреждениям Европы и отдельным лицам. Добавлю от себя, что такой образец находился и в коллекции минералов жившего за рубежом русского естествоиспытателя XVIII в. Д. А. Голицына.

Педантично-скрупулезным и отнюдь не утомительным для читателя анализом многочисленных источников и собственными

умозаключениями автор не оставляет камня на камне от уютного представления, что Хладни, находясь в Петербурге, изучил *de visu* в Кунсткамере доставленное туда в 1777 г. Палласово Железо и лишь после того написал упомянутое выше сочинение. Оказывается, этот редкостный экспонат даже не был показан Хладни. Его концепция «созревала не в результате непосредственного созерцания... вещества Палласовой массы, а в результате усвоения, а затем переосмысления суждений о нем специалистов-химиков, минералогов, металлургов».

Вместе с тем автор резонно утверждает, что на основании только сибирской находки нельзя было бы построить научной теории. В книге исчерпывающе подробно доказывается, что Хладни опирался на собранные до него данные о разных «падающих с неба камнях» и мнения различных ученых, прежде всего геттингенского физика Г. Лихтенберга, автора знаменитых «Афоризмов». Будучи физиком-акустиком, Хладни сумел успешно вторгнуться в «чужую» научную область и создать смелую для того времени теорию о внеземном происхождении метеоритов, заложив тем самым основу новому, междисциплинарному разделу естествознания. Во всем этом деле, заключает автор, сибирская находка 1749 г. сыграла все же решающую роль, так как в Палласовом Железе «первые оказались наиболее ярко выраженными характерные черты вещества, образование которого на земле невозможно».

«История Палласова Железа» заканчивается рассказом об установке и открытии в 1981 г. первого в мире чулунного памятника «Камню с неба» вблизи места падения Палласова метеорита.

Эта монография, принадлежащая перу знатока и энтузиаста прошлого и настоящего метеоритики, интересна и для специалистов, и для любителей истории науки.

Г. К. Церава
Бокситогорск

История науки

А. Ф. Иоффе. ВСТРЕЧИ С ФИЗИКАМИ. Мои воспоминания о зарубежных физиках. Составители Н. Я. Московченко и В. Я. Френкель. Л.: Наука, 1983, 262 с., ц. 1 р. 50 к.

«Мне пришлось встречаться со многими крупными физиками уходящего поколения. Некоторых из них я узнавал с таких сторон, которых не знают современники», — так начинается книгу своих воспоминаний А. Ф. Иоффе (1880—1960), почти полвека находившийся в центре развития физики в нашей стране и сам являвшийся ее притягательным центром. Эти воспоминания о встречах и беседах с крупнейшими физиками конца XIX и середины XX в. написаны летом 1959 г., но вышли в свет в 1960 г., уже после смерти автора, и стали библиографической редкостью.

При подготовке нынешнего, второго издания книги ее составители использовали первый вариант рукописи как наиболее близкий замыслу автора. В качестве Приложения включены письма к Иоффе тех ученых, имена которых упоминаются на страницах книги — В. Рентгена, П. Ланжевена, Н. Бора, М. Борна, А. Эйнштейна и многих других. Эти письма дополняют воспоминания и служат живым свидетельством отношения прославленных ученых к Иоффе. Кроме писем, адресованных лично Абраму Федоровичу, составители сочли возможным опубликовать несколько писем, адресованных его жене Анне Васильевне, полученных ею уже после смерти мужа.

«Для того чтобы быстро и близко входить в контакт с многими «хорошими и разными» физиками, надо было обладать, помимо специфического таланта физика, еще и особыми личными качествами», — пишет во вступительном слове ко второму изданию книги Г. В. Курдюмов. — Абрам Федорович был обаятельным, простым в обращении человеком. Очень приятно сознавать, что современный читатель сможет это почувствовать и понять, знакомясь с его воспоминаниями и эпистолярным наследием».

В КОНЦЕ НОМЕРА

Задачи академика П. Л. Капицы

А. В. Митрофанов, кандидат физико-математических наук
Москва

Многие, конечно, слышали о физических задачах академика П. Л. Капицы¹. За последние годы им было предложено много новых задач, которые уже «испытали» на себе выпускники Физтеха (Московского физико-технического института) во время вступительных аспирантских экзаменов и стажеры-исследователи, проходившие практику в Институте физических проблем им. С. И. Вавилова АН СССР.

Чтобы в самом общем виде уловить идею решения этих задач, часто бывает достаточно и школьной подготовки. Однако это вовсе не означает, что любой студент или аспирант легко даст полный ответ. Точнее было бы сказать, что таких случаев вовсе не было, потому что задачи П. Л. Капицы — это целые темы для исследований. Нет ничего удивительного в том, что на экзаменах подчас возникают жаркие споры даже среди членов приемной комиссии, состоящей в основном из академиков.

Как правило, экзаменуемым предлагается 3—4 задачи и после этого дается несколько часов на подготовку. Напряженная работа в библиотеке, где есть все необходимые книги, включая справочники и математические таблицы, позволяет только наметить пути решения.

Сдающих экзамен обычно не так много — человек пять, а иногда и того меньше. По существу это не экзамен в привычном смысле слова, а «соревнование» экзаменуемого с представительной комиссией, воз-



Петр Леонидович Капица.

главляемой П. Л. Капицей, по темам, которые в этот день уже не безразличны не только самим участникам и «жюри», но и «болельщикам» — всему научному штату Института. В Институте царит атмосфера праздника. Какую радость испытывает тот, кому удастся найти красивые решения и отстоять их! Но иногда складывается совсем другая ситуация, не менее запоминающаяся...

Как-то раз предлагалась такая задача. Исходя из предположения, что $4 \cdot 10^9$ лет назад Луна и Земля были окружены атмосферой так же, как сейчас Земля, следовало оценить изменение со временем плотности атмосферы этих небесных тел. Это очень трудная и интересная задача, важная в практическом отношении. Но не будем приводить здесь ее решение².

Отметим только, что, чем меньше масса планеты, тем быстрее она теряет атмосферу при прочих равных условиях. Притяжение Луны значительно (примерно в 6 раз) слабее земного, поэтому наш естественный спутник за 4 млрд лет успел бы полностью утратить свою атмосферу, если бы она у него была.

Готовые работы были представлены на суд экзаменационной комиссии. Они основывались в общем-то на одинаковых физических предпосылках и различались только вычислениями, приводящими, впрочем, к вполне разумным оценкам. Но никто из сдававших тогда экзамен не обратил внимания на одно интересное обстоятельство: возможный захват Землей лунной атмосферы. А именно эта физическая идея оказалась

можем прочесть, например, в книге: Струве О., Линдс Б. и Пиллэнс Э. Элементарная астрономия. Пер. с англ. под ред. С. А. Каплана, М., 1967, с. 113.

¹ Капица П. Л. Физические задачи. М., 1972.

² Интересующимся этим вопросом сообщаем, что о диссипации планетных ат-

центральной в задаче П. Л. Капицы. То-то был сюрприз для сдающих экзамен! Да и знакомство в такой необычной обстановке с явлением, которое происходит во Вселенной в еще более крупных масштабах, скажем в системе взаимодействующих галактик, и которому экзаменуемые просто не придали значения, — разве это не хороший урок, который не проходит даром и запоминается надолго?

В одном из изданий "Who's who" написано, что хобби П. Л. Капицы — это шахматы. Но с не меньшей долей истины можно сказать, что П. Л. Капица в часы отдыха любит придумывать красивые задачи по физике и находить для них строгие, изящные решения. В этих задачах много юмора. Они бывают связаны с курьезными экспериментами, предполагают хорошее знание истории физики,

принципов действия некоторых игрушек и серьезных технических устройств. Есть среди них и шуточные задачи.

При все том задачи П. Л. Капицы — это большая физика, а в их постановке — взгляд современного физика на окружающий мир.

ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ

Задача № 1

Во время солнечного затмения люди обычно смотрят на Солнце через закопченное стекло. Оцените необходимую для этого толщину слоя копоти на поверхности стекла.

Задача № 2

Два спутника летят один другому навстречу. Опишите, что произойдет при их лобовом столкновении.

Задача № 3

На корабле установлен воздушный двигатель типа ветряной мельницы, который вращает гребной винт корабля. Рассмотрите возможность движения такого корабля против ветра.

Задача № 4

В аудиторию входит студентка. Она надушена духами «Красная Москва». Оцените промежуток времени, через который профессор сможет почувствовать запах духов.

Указания к решению задач будут опубликованы в следующем номере.

В номере использованы фотографии: АЛЕКСЕЕВА Н. Н., ВЕСЕНСКОГО Н. В., ГЕНДЕ-РОТЕ В., ДЕСИНОВА Л. В., ЖИДКОВА М. П., КОШЕЛЕВА А. И., МАШАТИНА В. Н., МУХИНА И. А.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 5.07.83.
Подписано к печати 10.08.83.
Т—16624.
Формат 70×100¹/₁₆.
Офсет.
Усл.-печ. л. 10,32.
Усл. кр.-отт. 1570,7 тыс.
Уч.-изд. л. 15,1
Бум. л. 4
Тираж 58673 экз. Зак. 1895



— 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.

Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли
г. Чехов Московской области.



В следующем номере

Теорию естественного отбора можно с полным правом назвать не только первой строго научной и всеохватывающей теорией в биологии, но и первой теорией, в основу которой был положен системный подход.
Малиновский А. А. Системная логика дарвинизма.



Спектры элементарных возбуждений, в частности фононов, служат источником ценнейшей информации об основных свойствах металлов и сплавов. До недавнего времени фоновая спектроскопия металлов основывалась преимущественно на рассеянии нейтронов, получаемых в атомных реакторах. Сегодня достаточно надежные данные предоставляют... обычные электрические контакты, правда, необычно малых размеров.
Веркин Б. И. Микроконтактная спектроскопия металлов и сплавов.



АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ ФЕРСМАН. К 100-летию со дня рождения.

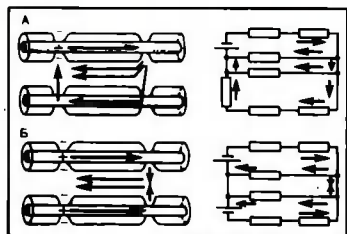
Ферсман А. Е. За цветными камнями.

Урусов В. С. Почему их только 2000?

Здорик Т. Б. Памяти А. Е. Ферсмана посвящается.

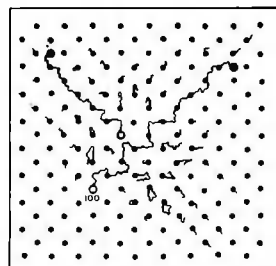
Грицаенко Г. С. Мои встречи с А. Е. Ферсманом.

Яншин А. Л. На службе обороны.



Парадоксальное торможение нервных импульсов, открытое Н. Е. Введенским еще в начале века, только сейчас получило свое объяснение.

Матюшкин Д. П. Парадокс Введенского в современной физиологии.



Надежность и долговечность существующих атомных реакторов и термоядерных установок будущего во многом зависят от радиационной прочности материалов. Исследование динамики различных дефектов, образующихся в веществе при облучении нейтронами и другими быстрыми частицами, значительно облегчается благодаря моделированию на ЭВМ.

Орлов А. Н., Трушин Ю. В. Моделирование на ЭВМ радиационных дефектов и процессов в кристаллах.

Цена 80 коп.

Индекс 70707

