

4 ПРИРОДА

1984

$$\iint_{-\infty}^{\infty} \frac{f(x', y') dx' dy'}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}} = S(x, y); S(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} q(x \cos \theta + y \sin \theta) P(\ell, \theta) d\theta$$

$$P(\ell - \ell', \theta) q(\ell', \theta) = P(\ell, \theta)$$

$$P(\ell, \theta) \Leftrightarrow \tilde{P}(\ell, \theta)$$

$$\sum \Delta x = R_{\Delta}$$

$$K(x, t) \in H$$

$$|x^{-1} + y^{-2}|$$

$$(x, x') f(x')$$

$$P_{\delta}(x) \sim$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \phi$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \sqrt{x}$$

$$g(x)$$

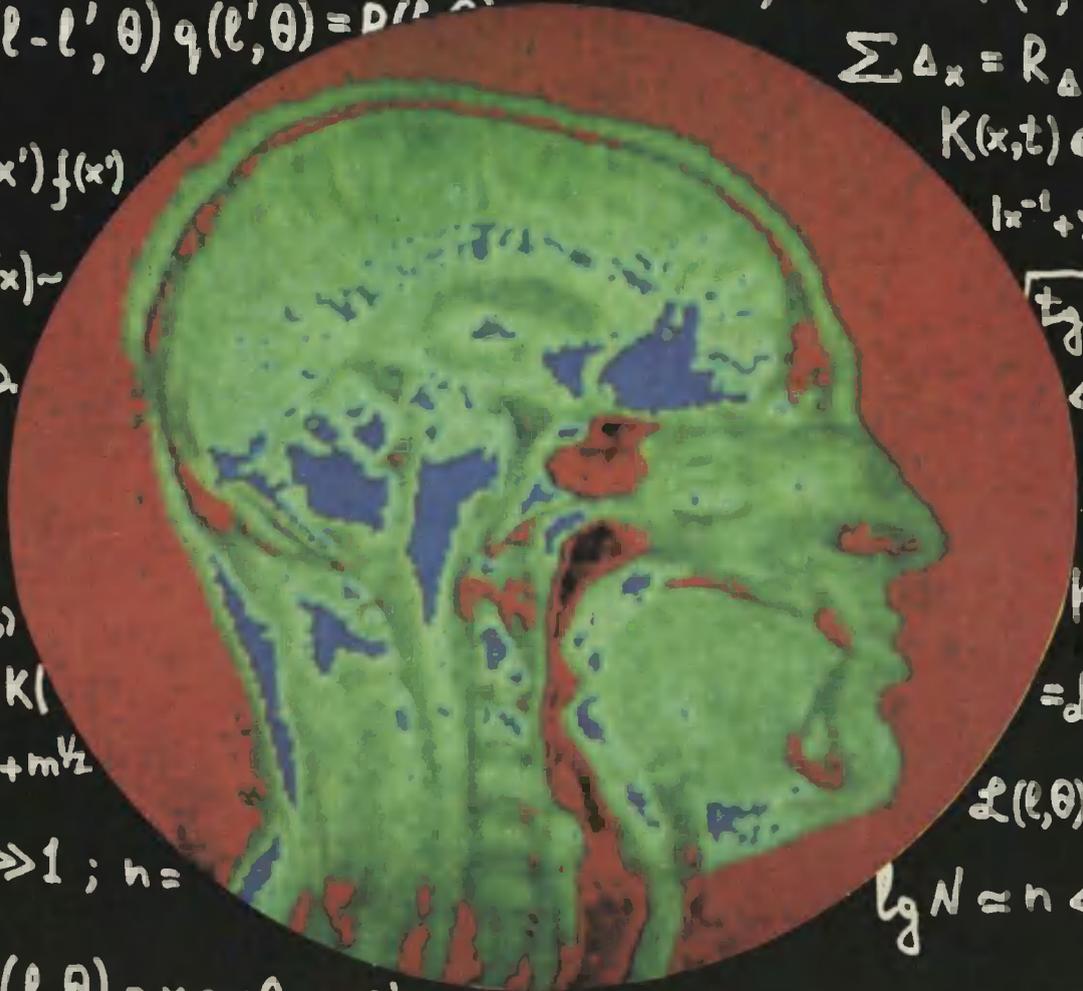
$$\sin K$$

$$1/2 + m^{1/2}$$

$$N \gg 1; n =$$

$$L(\ell, \theta) = x_{\ell} \cos \theta + y_{\ell} \sin \theta; \int_a^{\infty} k(x, t) f(t) dt = U_{\delta}(x); f(t) \in$$

$$\frac{\partial}{\partial x} f(x) \sim e^x; \int \tau(r, r') w(r') dr' = f(r); r = (x, y)$$



$$t_{\theta} \cdot \theta < \ell <$$

$$400$$

$$K(x)$$

$$= \sqrt{x}$$

$$L(\ell, \theta) \in f$$

$$\lg N = n \ll N$$

Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

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

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

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

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. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

На первой странице обложки. Результат численного моделирования компьютерного томографа СРТ-1000 — томограмма головного мозга человека. См. в номере: Тихонов А. Н., Арсенин В. Я., Рубашов И. Б., Тимонов А. А. Первый советский компьютерный томограф.
Фото Н. Н. Алексеева.

На четвертой странице обложки. Извержение гейзера Фонтан в Долине гейзеров на Камчатке. См. в номере: Штейнберг Г. С., Штейнберг А. С., Мерзенов А. Г. Гейзеры.
Фото В. Е. Гиппенрейтер.

В НОМЕРЕ

- Марков М. А.** Некоторые проблемы современной теории гравитации 3
 Будет ли наблюдаемое расширение Вселенной продолжаться бесконечно, или оно сменится сжатием? Произошла ли Вселенная в результате «Большого взрыва», или она пульсирует вечно? Существует ли минимальный размер пространства? Ответы на эти и многие другие вопросы пытается найти современная теория гравитации.
- Тихонов А. Н., Арсенин В. Я., Рубашов И. Б., Тимонов А. А.** Первый советский компьютерный томограф 11
 Компьютерный томограф, как в свое время рентгеновский аппарат, произвел подлинную революцию в диагностике. Первый отечественный компьютерный томограф СРТ-1000 за счет более совершенной системы математического обеспечения во многих отношениях превосходит аналогичные зарубежные установки.
- Брук С. И., Покшишевский В. В.** Человечество устремляется к морям 22
 Более половины населения Земли живет в приморских районах, прилегающих к побережью до 200 км. Это отражает возрастание роли океана в жизни людей.
- Штейнберг Г. С., Штейнберг А. С., Мержанов А. Г.** Гейзеры 32
 Как «работает» гейзер, что заставляет его действовать периодически? Эта задача получила строгое физико-математическое решение, подтвержденное лабораторными экспериментами и натурными наблюдениями.
- Бондаренко Д. А.** Хентаунская круглоголовка 48
 Получены новые сведения о редком эндемичном виде ящериц, включенном в «Красную книгу СССР».
- Мерзляков В. М.** Халцедоны Алазейского плоскогорья 50
 Богатые россыли этих необычайно разнообразных по окраске поделочных камней обнаружены геологами на северо-востоке Якутии.
- Кучай В. К.** Голубинный диапиризм — альтернатива новой глобальной тектоники? 52
 Одним из механизмов, определяющих динамику литосферы, можно считать внедрение в верхние слои Земли глубинных диапиров — огромных порций легкого материала из мантии.
- Савин И. А.** Интерференция во взаимодействиях мюонов 61
 В эксперименте высшей категории сложности, выполненном в 1980 г. в ЦЕРНе, были получены косвенные доказательства существования Z^0 -бозонов и исследован новый процесс, происходящий с их участием.
- «СИЛА БИОФИЗИКИ... В ЦЕМЕНТИРОВАНИИ ВОЕДИНО ДРУГИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН».** К 80-летию со дня рождения Г. М. Франка 72
- Франк Г. М.** Некоторые задачи и перспективы развития биофизики 74
 Биофизика как область познания призвана решать биологические проблемы при помощи физических методов, и ее перспективы связаны, в частности, с успехами в прижизненном исследовании живого.
- Иваницкий Г. Р.** Черты научного руководителя 80
 Главной чертой Г. М. Франка была подвижность в научных интересах, стремление определить, какое место может занять новый физический эффект в биологических исследованиях.

Вестиментиферы — недавно открытые крупные глубоководные животные, обитающие у выходов гидротермальных источников. У них красная кровь, развитая мускулатура, но нет рта и кишечника.

Сукерник Р. И., Кроуфорд М. Популяционная генетика и первоначальное заселение Америки

90

Восстановить события глубокой древности, происходившие около 10—20 тысяч лет назад, помогают популяционные исследования малых этнических групп, живущих сегодня на Таймыре и Аляске.

Клитин К. А. Новая газоносная провинция в Арктике

100

Геологи предсказывают новые многочисленные залежи газа в бассейне полярного моря Лабрадор, где в начале 70-х годов уже было обнаружено газовое месторождение.

НОВОСТИ НАУКИ

103

Запуски космических аппаратов в СССР (ноябрь — декабрь 1983 г.) (103) • Скопления галактик скучены сильнее, чем отдельные галактики (103) • Изменение состояния рентгеновского пульсара Her X-1 (105) • Еще одна солнечная система? (105) • Кандидат в глоболы (106) • Радиодетектирование нейтрино и мюонов (107) • Кристаллический полупроводник превращается в аморфный (107) • Силикагель в лазере (108) • Мощность лазера двенадцать тераватт (108) • Клонирован ген урокиназы человека (108) • Синтезирован ген проинсулина человека (109) • Способ лечения многих болезней? (109) • Механизм развития болезни Шагаса (110) • Мигание при умственной деятельности (110) • Субъективность восприятия и ее объективный индикатор (110) • Птицы покидают остров (112) • Самцы, собирающие цветочные запахи (112) • Деревья умеют защищаться (112) • Необычная экосистема (113) • Экологическое значение селена (113) • Древнейшие процессы дифференциации на Земле (114) • 90-й рейс «Гломара Челленджера» (115) • Рифтовые структуры в Западной Африке (116) • Осадки в Мировом океане, обогащенные кобальтом (116) • Глубоководные исследования рифтовых зон (117) • Олово в воде и атмосфере Северной Атлантики (117)

РЕЦЕНЗИИ

Козинцев А. Г. Дерматоглифика и история (на кн.: Г. Л. Хить. Дерматоглифика народов СССР)

118

Антонов А. С. Популярно о современных биологических концепциях (на кн.: П. Медавар, Дж. Медавар. Наука о живом)

119

НОВЫЕ КНИГИ

121

Эдельман В. С. Вблизи абсолютного нуля (121) • **Гашрилов В. П.** Кладовая океана (121) • **Уэлти К., Сторер Дж., Пенникуж К.** и др. Птицы (121) • **Янин Б. Т.** Основы тафономии (121) • **Березкин Ю. Е.** Мочика (122) • **Абаев Н. В.** Чань-буддизм и культура психической деятельности в средневековом Китае (122) • **Ирибаджиков Н.** Критика метафизического разума (122)

В КОНЦЕ НОМЕРА

Дэйсон Ф. Нарушая покой Вселенной. (Окончание)

Некоторые проблемы современной теории гравитации

М. А. Марков



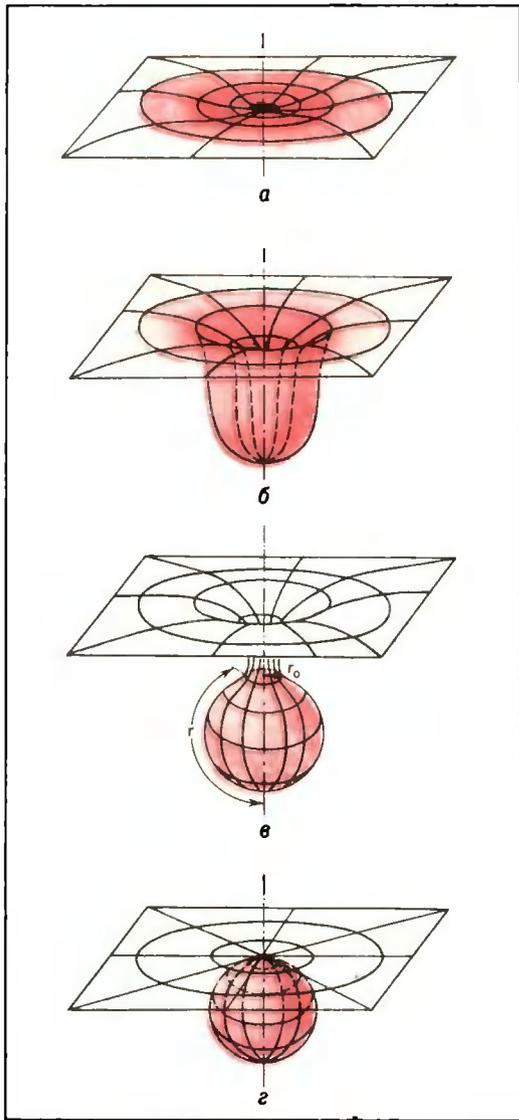
Моисей Александрович Марков, академик, академик-секретарь Отделения ядерной физики АН СССР. Руководитель сектора в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР и заведующий отделом в Институте ядерных исследований АН СССР. Основные работы относятся к классической электродинамике, нелокальной квантовой теории поля, систематике элементарных частиц, физике нейтрино, теории гравитации, методологии физики. Автор ряда книг, в том числе: Гипероны и К-мезоны. М., 1958; Нейтрино. М., 1964; О природе материи. М., 1976. Герой Социалистического Труда.

А. Эйнштейн в речи на юбилее профессора А. Стодолы (Лейпциг, 1929 г.) сказал: «Если говорить честно, мы хотим не только знать, как устроена природа... но и, по возможности, достичь цели утопической и дерзкой на вид — узнать, почему природа является именно такой... (выделено нами.— М. М.). В этом ученые находят наивысшее удовлетворение. В этом состоит прометеевский элемент научного творчества. Для меня в этом заключается постоянное очарование научного мышления¹. Эту же мысль Эйнштейн формулирует в беседе с Э. Штраусом таким образом: «Что меня действительно интересует — мог бы бог создать мир по-другому²». Во всей нашей деятельности, направленной на познание природы, мы постоянно пытались в некотором смысле конкурировать, пользуясь выражением Эйнштейна, с ее создателем. Мы безуспешно пытались создать, так сказать, упрощенные варианты мироздания. Вначале речь шла о мире, построенном исключительно по зако-

нам классической механики. Но в эту картину мира не смогли «вписаться» электромагнитные явления. Также неудачей закончилось описание природы как мира чисто электромагнитных явлений. Время от времени мы еще по-прежнему удивляемся, зачем природе понадобилось столько взаимодействий — сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное; нельзя ли описать мир попроще? Но нами уже овладевает мысль, что мир не мог быть построен непротиворечивым образом в рамках одного взаимодействия, что решение трудностей описания отдельных взаимодействий надо искать в их, как теперь принято говорить, «Великом объединении». Природа не могла быть создана иначе, только в таком объединении исчезают многие проблемы и достигается необходимая стройность теории. В этом объединении всех взаимодействий, осуществляющемся при сверхвысоких (свыше 10^{15} ГэВ) энергиях, фундаментальная роль принадлежит гравитационному полю. Процессы с участием элементарных частиц при таких энергиях разыгрываются на исключительно малых (меньше 10^{-29} см) расстояниях, соответствующих огромной плотности вещества, при которой в полной мере должно проявиться своеобразие гравитационного взаимодействия.

¹ Einstein A. Über den gegenwärtigen Stand der Feldtheorie. Festschrift Prof. A. Stodola Zum 70. Geburtstag. Leipzig, 1929, S. 126.

² Nell Zeit — Dunkle Zeit — Seelig, Zürich, 1956, S. 72.



Геометрия пространства, искривленного гравитационным полем сферически-симметричного распределения вещества. Когда обусловленный гравитационным самодействием дефект массы — второй член в правой части выражения (1) — мал, внутренний размер r частицы, выделенной цветом, практически совпадает с ее внешним радиусом r_0 , а пространство — почти плоское (рис. а). При уменьшении внутреннего размера системы, вместе с ростом дефекта массы, пространство все сильнее искривляется (рис. б и в). Конфигурацию, изображенную на рис. в, называют полужамкнутым миром. При стремлении r_0 к нулю в пределе возникает замкнутый мир (рис. г), внутренний размер которого остается конечным. Внешняя масса такого объекта точно равна нулю.

В этой статье обсуждается ряд вопросов, связанных с возможной ролью гравитации в физике элементарных частиц и космологии.

СОБСТВЕННАЯ ЭНЕРГИЯ

Своеобразие гравитационного взаимодействия проявляется уже в классической физике в связи с проблемой расходимости собственной энергии. Для частицы размера r и массы m_0 наблюдаемая масса m (и соответственно энергия покоя mc^2) с учетом только гравитационного самодействия определяется соотношением

$$m = m_0 - \alpha \chi m_0^2 / rc^2, \quad (1)$$

где χ — гравитационная постоянная, α — параметр порядка единицы, характеризующий распределение массы внутри частицы, c — скорость света. При стремлении r к нулю величина m приобретает бесконечно большие отрицательные значения. Общая теория относительности Эйнштейна вносит серьезную поправку в этот вывод ньютоновской теории. Формально в общей теории относительности выражение (1) остается справедливым, однако параметр r в нем представляет собой так называемый внутренний размер частицы. За счет искривления пространства в общей теории относительности внешний размер частицы r_0 (размер ее граничной сферы в искривленном пространстве) и ее внутренний размер r (расстояние от центра до поверхности частицы) различны. При уменьшении r уменьшается и r_0 до тех пор, пока внешний размер не обратится в нуль (при этом внутренний размер остается отличным от нуля). Наблюдаемая «внешняя» масса частицы m в этот момент исчезает — происходит так называемое замыкание внутреннего пространства частицы. Иными словами, только протяженная частица, имеющая внешний размер, отличный от нуля, обладает ненулевой массой. Отрицательные же значения массы вообще лишены физического смысла. Таким образом, если справедливо приведенное толкование соотношения (1), то в классической теории гравитации Эйнштейна нет расходимости собственной энергии.

В определенном приближении соотношения типа (1) фигурируют и в квантовой теории поля. С излагаемой точки зрения, появление в квантовой теории подобных выражений также должно рассматриваться как результат незаконного использования понятия точечной частицы. Ес-

ли частица, обладающая массой, всегда протяженна, можно предполагать, что и другие расходимости в квантовой теории поля обязаны неправильному учету взаимодействия поля с элементарной частицей.

ПРЕДЕЛЬНАЯ МАССА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

В связи с обсуждением роли гравитации в физике элементарных частиц желательнее более четко определить и само понятие элементарной частицы³. Здесь мы заметим лишь, что существует естественная верхняя граница для масс элементарных частиц, связанная с требованием, чтобы комптоновская длина волны частицы была не меньше ее гравитационного радиуса⁴. С учетом этого максимальное значение массы элементарной частицы оказывается равным

$$m_n = (\hbar c / \lambda)^{1/2} \approx 10^{-5} \text{ г.} \quad (2)$$

Комбинация универсальных констант (2), часто называемая планковской массой, известна довольно давно. Однако в последние годы эта величина привлекает к себе пристальное внимание теоретиков как возможная характеристика реальных физических объектов, для которых в 1965 г. автором было предложено название «максимон». Особый интерес вопрос о существовании максимонов приобрел после теоретического предсказания квантового испарения черных дыр. В 1974 г. английский физик С. Хокинг показал, что сильное гравитационное поле черной дыры может рождать частицы из вакуума, в результате чего она, подобно классическому абсолютно черному телу, испускает излу-

чение, так что ее масса и размеры постепенно уменьшаются. Исчезает ли черная дыра в процессе такого распада полностью или остается в виде стабильной частицы планковской массы — максимона? Этот вопрос пока остается открытым. Согласно современной теории распада черных дыр, они в результате распада исчезают. Но эта теория макроскопическая, и законность ее применения к подобным микроскопическим объектам сомнительна. Не исключено, что определяющими окажутся квантовые эффекты. Они могут быть связаны как с поляризацией вакуума гравитационным полем, приводящей к модификации уравнений Эйнштейна на малых расстояниях, так и с тем, что максимоны — существенно квантовые объекты⁵. Попытки квантового описания таких объектов приводят к выводу о том, что их энергия принимает дискретные значения

$$E_n = m_{\text{П}} c^2 (2n + 1)^{1/2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Однако, вообще говоря, нет уверенности в том, что наши знания достоверны на столь малых расстояниях. Свыше пятнадцати порядков (10^{-17} — 10^{-33} см) отделяют сегодня эксперимент от проверки теории на расстояниях, сравнимых с планковской длиной $l_{\text{П}} = (\hbar \hbar / c^3)^{1/2}$. Многие еще могут измениться в теории на этом интервале. Не исключено, что эти изменения затронут самым серьезным образом и проблему конечного состояния черной дыры. Упомянем, в частности, развиваемые в последнее время варианты теории тяготения с высшими производными в уравнениях поля или дополненным тензорным полем (так называемая сильная гравитация) с тем, чтобы подчеркнуть, в общем-то, очевидный тезис о том, что наше знание физических законов в области $l \leq l_{\text{П}}$ далеко не полно.

МАКСИМОНЫ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Стабильно конечное состояние черных дыр или нет — вопрос, чрезвычайно

³ Markov M. A. Preprint Inst. Nucl. Res. Acad. Sci. USSR, P-0208. М., 1981.

⁴ Комптоновская длина волны частицы $\lambda_0 = \hbar / mc$ (\hbar — постоянная Планка) — характерный размер, на котором становятся существенными релятивистские квантовые эффекты, в частности рождение пар. Комптоновская длина волны уменьшается с ростом массы элементарной частицы (для электрона $\lambda_0 \approx 3,9 \cdot 10^{-11}$ см, для протона — примерно $2,1 \cdot 10^{-14}$ см). Гравитационный радиус тела определяется соотношением $r_g = 2\kappa M / c^2 = 1,5 \times 10^{-26}$ см \cdot М (М — масса тела в граммах). Если размеры тела стремятся к r_g , вторая космическая скорость на его поверхности приближается к скорости света. При дальнейшем сжатии (коллапсе) возникает черная дыра — область пространства, из которой не могут выйти ни частицы, ни излучение.

⁵ В современной физике вакуум — не пустота, а определенное состояние поля с минимальной возможной энергией. В частности, средние значения различных характеристик поля в этом состоянии не равны нулю. Во внешнем поле свойства вакуума изменяются, или, как говорят, вакуум поляризуется. За счет энергии внешнего поля в вакууме могут рождаться обычные частицы.

важный для строения Вселенной. Эти сверхтяжелые элементарные частицы могли бы играть весьма существенную роль в эволюции Вселенной. В одном из сценариев эволюции, предложенном автором⁶, максимоны рождаются в самые первые мгновения расширения Вселенной и затем, взаимодействуя между собой, образуют обычное вещество. Существующая же в настоящее время материя, согласно этому сценарию, состоит в основном из сильно разреженного газа практически не взаимодействующих стабильных максимонов. Если плотность этого газа $\rho \geq 10^{-29}$ г/см³, то Вселенная замкнута⁷. При этом наблюдаемое в обычной форме вещество со средней плотностью $\rho_0 \approx 5 \cdot 10^{-31}$ г/см³ составляет лишь малую долю всей материи. В результате интенсивного взаимодействия максимонов на ранней стадии эволюции Вселенной к настоящему времени должна сохраниться лишь небольшая их часть. В противном случае трудно объяснить наблюдаемую сегодня величину (порядка 10^{-4}) отношения плотности энергии реликтового излучения⁸ к плотности вещества.

Элементарные черные дыры планковской массы (максимоны), в принципе, могут быть как электрически нейтральными, так и заряженными, могут обладать и спином, отличным от нуля. Они, как и другие элементарные частицы, могут образоваться непосредственно во взаимодействиях, а не только в результате распада обычных черных дыр. В случае стабильности максимонов естественно обсуждать и состоящие из них системы: максимоний (связанное состояние максимона и антимаксимона), макситритий, максигелий и т. д.

Потери энергии на гравитационное (а для заряженных систем и электромагнитное) излучение ведут к тому, что эти системы должны распадаться, но с довольно большими характерными временами. Так, электрически нейтральный максимоний с начальным размером 10^{-17} см имеет время жизни, сопоставимое с возрастом Вселенной. При коллапсе таких систем излучается энергия, близкая к массе максимона (около 10^{28} эВ). В последнее время рассматриваются возможности детектирования частиц таких энергий, приходящих из космоса⁹. Сегодня зарегистрированная экспериментально верхняя граница энергетического спектра космических лучей лежит где-то в районе 10^{20} эВ. Заметим, что в обычной схеме распада конечного состояния черной дыры с $m_{\text{п}} \approx 10^{-5}$ г, по-видимому, происходит настолько быстрая диссипация энергии, что в этом огненном сгустке частицы с ультравысокими энергиями (порядка 10^{24} эВ) вряд ли наблюдались бы. Кроме того, энергия произошедшего в далеком прошлом распада черной дыры уменьшается в результате расширения Вселенной.

Стабильность же максимонов и состоящих из них систем, коллапсирующих лишь на поздних стадиях расширения Вселенной, оставляет некоторую надежду на регистрацию (правда, в очень редких случаях) космических лучей с энергиями, значительно превышающими 10^{20} эВ. Небезынтересно отметить, что лавины частиц, образующихся в атмосфере космическими лучами с энергиями порядка 10^{28} эВ, по своему энерговыделению и проявлению аналогичны молниям.

В среде, состоящей из максимонов и антимаксимонов, могут возникать и долгоживущие образования с макроскопическими массами, достигающими 10^{15} г, так называемые рои. Эти массивные, но невидимые небесные тела помогли бы объяснить некоторые особенности строения галактик, взяв на себя функции «недостаю-

⁶ Markov M. A. Preprint Inst. Nucl. Res. Acad. Sci. USSR, P - 0207. M., 1981.

⁷ В космологической модели открытой Вселенной наблюдаемое сегодня расширение должно продолжаться бесконечно. В модели закрытой Вселенной это расширение неизбежно сменяется сжатием. Какая из моделей соответствует действительности, зависит от средней плотности материи во Вселенной. Подробнее об этом говорится в следующем разделе.

⁸ Реликтовое излучение — изотропная составляющая космического электромагнитного излучения, соответствующая тепловому излучению абсолютно черного тела с температурой $T \approx 3$ К. Реликтовое излучение фактически определяет плотность энергии излучения (примерно $0,25$ эВ/см³) или фотонов (около 500 см⁻³) во Вселенной. На каждый атом вещества приходится 10^7 — 10^8 фотонов реликтового излучения.

⁹ Речь идет об экспериментах по программе DUMAND. (Deep Underwater Muon and Neutrino Detection) — глубоководная регистрация мюонов и нейтрино, в которых расположенные в мировом океане на больших глубинах специальные детекторы должны регистрировать мюоны и нейтрино высоких энергий. Подробнее об этом см.: Березинский В. С. Проект «Дюманди». — Природа, 1976, № 11, с. 28; Корец М. А. Звук от нейтрино. — Природа, 1977, № 9, с. 132; Долгошеин Б. А. Звук от нейтрино. — Природа, 1978, № 8, с. 84.

щей массы»¹⁰. Но, пожалуй, более существенно, что такие максимумные рои служат источниками значительного или даже кастрофического выделения энергии.

ПРОБЛЕМА ПРОИСХОЖДЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

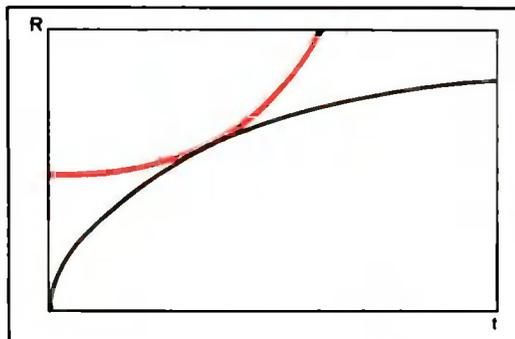
Предлагаемый сценарий эволюции Вселенной, в котором столь важную роль играют максимумы, представляет собой лишь один из возможных сценариев. Все существующие сценарии этого грандиозного «спектакля» сталкиваются, однако, с одной фундаментальной трудностью — проблемой начального состояния и происхождения Вселенной. В настоящее время предпринимаются попытки рассматривать это состояние как результат флуктуаций вакуума, которые затем развиваются в нестационарную (расширяющуюся) Вселенную, называемую Вселенной Фридмана. Обсуждается возможность такого описания начального состояния Вселенной, которое было бы свободно от сингулярности, иными словами, в котором значения всех физических величин, включая плотность энергии, конечны. Такая возможность возникает, например, если в начальном состоянии нарушена энергодоминантность, т. е. не выполняется обычное соотношение между давлением p и плотностью энергии ϵ

$$p + \epsilon > 0. \quad (3)$$

Требование (3) неизбежно ведет к сингулярности начального состояния Вселенной. Это требование традиционно обосновывалось тем, что примеров его нарушения для обычных состояний материи физика не знает. Но ведь в данном случае речь идет об экстремальном состоянии материи со все возрастающей в процессе коллапса плотностью.

Уже сегодня есть серьезные основания полагать, что начальное состояние Вселенной представляло собой необычное состояние материи, в котором условие (3) нарушено. Это нарушение могло быть связано со свойствами вакуума.

Простейшее уравнение состояния с нарушенной энергодоминантностью имеет вид $p + \epsilon = 0$. При этом эволюция изотропного мира описывается так называемым решением де Ситтера. Характерная особенность такой Вселенной (именуемой, в отличие от Вселенной Фридмана, Вселенной де Ситтера) в том, что в ней все расстояния на поздних стадиях расширения увеличиваются с течением времени по экспоненциальному закону e^{Ht} (H — постоянная).



Эволюция Вселенной Фридмана и Вселенной де Ситтера при малых значениях времени t . Зависимость масштабного фактора R , характеризующего размер замкнутого мира, от времени для Вселенной Фридмана, заполненной веществом с обычным уравнением состояния $p = \epsilon/3$, определяется выражением $R \sim t^{2/3}$. Для Вселенной де Ситтера (уравнение состояния $p + \epsilon = 0$) эта зависимость (цветная кривая) имеет вид $R \sim \text{ch}(Ht)$. В точке касания кривых возможна смена Фридмановской фазы эволюции на деситтеровскую.

Прежде на вопрос, в каком виде материя могла бы существовать на начальном этапе истории Вселенной, по существу, ответа не было. Но недавно в ряде работ сделан вывод о том, что для этого состояния характерно рождение частиц с максимально возможными массами, в том числе максимумов. Благодаря огромной плотности максимумов в этом начальном состоянии, образующиеся из них системы могли коллапсировать, излучая обычные частицы со сверхвысокими энергиями. Для того чтобы подавляющая часть существовавших на этой стадии максимумов впоследствии исчезла, начальная скорость расширения Вселенной должна быть не слиш-

¹⁰ Масса галактик (или их скоплений), оцениваемая по средним скоростям движения звезд (отдельных галактик) заметно превосходит их «видимую» (различными астрономическими приборами) массу. Это расхождение и породило представление о «недостающей» массе.

ком высокой. Это требование невыполнимо при соблюдении условия энергодоминантности, но вполне может иметь место, если это условие нарушено. В частности, в мире де Ситтера расширение начинается со скорости, равной нулю, и, в отличие от стандартной Вселенной Фридмана, ускорение при расширении не отрицательно, а положительно.

Естественно возникает вопрос о дальнейшей судьбе Вселенной, точнее, о том, какой вариант Вселенной реализуется в действительности — открытый или закрытый. Именно в этом пункте должен быть дан ответ на знаменитый вопрос Эйнштейна: «Почему природа является такой, а не другой?».

Пока неясно, позволяет ли решение де Ситтера, объясняющее ряд важных особенностей Вселенной, таких как возможность ее длительного существования (близость к плоскому миру) и малая анизотропия, решить основную космологическую проблему, связанную с происхождением Вселенной, или трудности описания начального состояния просто отодвигаются во времени. С этой точки зрения более предпочтительна модель осциллирующей Вселенной.

Напомним, в чем суть этой модели. Как известно, наша Вселенная расширяется. Если кинетическая энергия при этом меньше потенциальной (энергии сил тяготения), то Вселенная замкнута и расширение должно смениться сжатием. Возможно ли, чтобы за сжатием снова последовало расширение, т. е. следующий цикл эволюции? Последовательность таких циклов и составляет основу модели осциллирующей Вселенной. Во Вселенной, заполненной обычным веществом, удовлетворяющим условию (3), процесс сжатия приводит к сингулярности. Однако учет квантовых эффектов или «вакуумного» состояния материи, в котором нарушено условие (3), при экстремально высоких (порядка 10^{94} г/см³) плотностях допускает плавный переход от сжатия к расширению. Действительно, когда уравнение состояния становится «вакуумным» ($p + \varepsilon = 0$), Вселенная переходит на деситтеровскую стадию эволюции, скорость сжатия в ней уменьшается до нуля, после чего она снова начинает расширяться.

Может ли Вселенная в такой модели осциллировать бесконечно? Исследования этого вопроса привели к заключению о том, что для Вселенной, заполненной обычным веществом, длительность каждого последующего цикла увеличена по сравне-

нию с предыдущим. Отсюда следует вывод, что в такой осциллирующей Вселенной число циклов было конечным, так что вопрос о ее начальном состоянии не снимается и трудности просто переносятся в более удаленное по времени прошлое.

Невозможность вечных осцилляций Вселенной в этой модели связана с непрерывным ростом ее энтропии и массы. Поэтому в модели осциллирующей Вселенной выделенным оказывается начальное состояние с минимальным значением энтропии. Следует подчеркнуть, что обсуждаемая проблема обусловлена не самой энтропией, а увеличением энергии, т. е. полной внутренней массы Вселенной, в неадиабатических процессах расширения и сжатия. Именно рост внутренней массы приводит к увеличению размеров Вселенной и периодов осцилляций.

Эта трудность стандартной модели осциллирующей Вселенной исчезает, если всякий раз, как Вселенная в процессе сжатия переходит на деситтеровскую фазу эволюции, ее характеристики оказываются с другими и теми же либо меняются лишь за счет случайных квантовых флуктуаций. Как недавно показано автором, при наличии верхней границы ($\rho_{\text{н}} = c^5/\hbar x^2 \approx 10^{94}$ г/см³) на допустимые значения плотности вещества во Вселенной такая возможность имеется¹¹. Это соответствует гипотезе о том, что во Вселенной, сжатой до размеров порядка $l_{\text{п}}$, состояние материи характеризуется уравнением $p + \varepsilon = 0$.

Основная проблема заключается, конечно, в том, чем же, какими свойствами может определяться такое изменение ее состояния при локализации в столь малом объеме. По-видимому, это изменение способно вызываться изменением природы всех взаимодействий, конкретнее — возникновением асимптотической свободы на расстояниях $l \lesssim l_{\text{п}}$, т. е. стремлением к нулю при уменьшении расстояния констант, характеризующих эти взаимодействия.

Отметим, что материю в таком состоянии нельзя рассматривать как газ взаимодействующих частиц, которые, в принципе, локализуемы в сопутствующей системе координат. Возможность такой локализации предполагает, по меньшей мере, наличие короткодействующих сил, с помощью которых частица фиксируется в этой системе.

¹¹ Марков М. А. — Письма в ЖЭТФ, 1982, т. 36, с. 214.

Следовательно, в состоянии, характеризующемся асимптотической свободой, нельзя выделить какую-то часть материи по отношению к остальной. Вместе с гравитационными исчезают и инерционные свойства материи, становится бессмысленным понятие «материя состоит из частиц».

Очень похоже на то, что именно благодаря асимптотической свободе на ультрамалых расстояниях состояние материи может описываться приведенным выше уравнением $p + \varepsilon = 0$.

Таким образом, речь идет о попытке с помощью идеи асимптотической свободы истолковать физические свойства «вакуумного» состояния вещества при сверхвысоких плотностях¹².

В физической модели, реализующей эту идею, асимптотическая свобода представляет собой следствие зависимости константы гравитационного взаимодействия χ от плотности вещества ϱ . Вид этой зависимости подбирается таким образом, что при некоторой предельно большой плотности ($\varrho_{\text{п}} \approx 10^{11}$ г/см³) гравитационное взаимодействие исчезает и в уравнении Эйнштейна преобладающим оказывается так называемый Λ -член, связанный с энергией вакуума. При малой же плотности вещества осуществляется переход к обычным уравнениям общей теории относительности. При гравитационном коллапсе Вселенной ее плотность стремится к предельному значению, а эволюция определяется «вакуумным» уравнением состояния, т. е. решением де Ситтера¹³.

Наиболее важное следствие обсуждаемой гипотезы заключается в том, что если область, в которой реализуется асимптотическая свобода, имеет размер порядка $l_{\text{п}}$, то она остается неизменной для Вселенной с любым значением внутренней массы, с любым значением энтропии. Если только планковская длина $l_{\text{п}}$ определяет конечные размеры фридмановского мира,

т. е. начальные размеры мира де Ситтера, то энтропия и состояние Вселенной при этом переходе всегда одни и те же. Если предыдущие соображения соответствуют истинной природе материи, если действительно в области $l \lesssim l_{\text{п}}$ осциллирующая Вселенная представляет собой мир де Ситтера, то последний в этом случае играет роль своеобразного «чистилища», освобождающего Вселенную от излишней энтропии и плотности энергии, образовавшихся в ее фридмановской фазе. И, может быть, именно благодаря этому вечно осциллирующая Вселенная станет реальностью!

По-видимому, нельзя утверждать, строго говоря, что Вселенная Фридмана при этом переходит во Вселенную де Ситтера. Скорее, речь идет о довольно кратком деситтеровском этапе эволюции мира Фридмана, на котором происходит его своеобразное «очищение» и «рождение» заново. Определяющими на этом этапе являются квантовые флуктуации мира как целого¹⁴.

В заключение этого раздела сделаем некоторые замечания, обосновывающие предпочтительность так называемой закрытой модели Вселенной. Хотя наблюдательных данных, имеющих в настоящее время, пока недостаточно, чтобы сделать однозначный вывод о том, является ли наша Вселенная открытой или закрытой, закрытая модель обладает рядом свойств, делающих ее более привлекательной с теоретической точки зрения.

Напомним, что полная энергия элемента объема вещества определяется массой покоя его частиц, их кинетической энергией и потенциальной энергией их взаимодействия. Поскольку гравитация связана с притяжением, вклад потенциальной энергии в полную отрицателен. Отличительная особенность закрытого мира — равенство нулю его полной энергии в результате компенсации отрицательной энергией гравитационного взаимодействия положительной энергии вещества. Искривление пространства при этом настолько велико, что мир скорее сферический, чем плоский, и эволюция Вселенной представляет собой расширение до максимального размера, сменяющееся сжатием.

Так как возникновение закрытой Вселенной с полной энергией, равной нулю, скажем, в «первоначальном» пустом пространстве не противоречит закону сохранения

¹² Предположение об асимптотической свободе гравитационного взаимодействия, возможно, содержится в уравнениях теории тяготения Эйнштейна с поправками, включающими высшие производные метрического тензора $g_{\mu\nu}$, которым в последнее время специалисты уделяют особое внимание.

¹³ Поскольку, как указывалось выше, при переходе от деситтеровской стадии эволюции к фридмановскому миру, по всей вероятности, рождаются преимущественно частицы с максимальной массой — максимоны, естественно предположить, что в фазе коллапса практически вся материя (включая и гравитационные волны) предварительно преобразуется в максимонную форму.

¹⁴ Markov M. A. — Phys. Lett., 1983, v. 94A, p. 427.

ния энергии, эта своеобразная черта закрытой Вселенной часто рассматривается как возможность ее происхождения «из ничего», как некий «распад вакуума». Но ведь такая Вселенная дальше эволюционирует так же, как осциллирующая Вселенная. Спрашивается, не предпочтительнее ли рассматривать с самого начала именно вариант **вечно осциллирующей** Вселенной, в котором нет проблемы ее возникновения?

О ФИЗИЧЕСКОМ СМЫСЛЕ ПЛАНКОВСКОЙ ДЛИНЫ

В приведенных выше рассуждениях важную роль играли процессы, происходящие во Вселенной, когда ее размеры сравнимы с планковской длиной l_p . В настоящее время существуют две трактовки этой величины:

1. Природа физических явлений радикально меняется в области $l \leq l_p$, где справедливы пока неизвестные нам физические законы.

2. Расстояния $l < l_p$ не имеют физического смысла, как скорости $v > c$ или действия $S < \hbar/2$.

Таким образом, одна из проблем современной теории гравитации — это проблема возможности измерения физических величин в области $l \leq l_p$. Имеют ли смысл при $l \leq l_p$ какие-либо геометрические свойства пространства? Можно ли, например, говорить о топологии областей подобных размеров?

К этой проблеме тесно примыкает интенсивно разрабатываемая С. Хокингом идея Дж. Уилера о «пенной» структуре пространства-времени на малых расстояниях. Согласно этой идее, флуктуации метрики пространства, пренебрежимо малые в больших масштабах, становятся сравнимыми с единицей при $l \leq l_p$. Это, возможно, приводит к спонтанному квантовому изменению топологии пространства, так что в столь малых масштабах пространство напоминает скорее мыльную пену, чем гладь воды.

При изучении этого вопроса, тесно связанного с теорией измерений, важную роль играет анализ различных мысленных экспериментов¹⁵. Интересно, например,

можно ли в условиях фридмановской Вселенной ускорить элементарную частицу до сверхвысоких энергий, соответствующих длинам волн $\lambda \approx l_p$. При ускорении заряженной частицы в ускорителе космических размеров ограничивающими факторами будут: предельное значение ускоряющего поля, «охлаждение» в результате расширения Вселенной, время жизни самой ускоряемой частицы, потери энергии на реликтовом излучении. (Повторим, что рассматривается **мысленный эксперимент** в **реальных условиях** нашей Вселенной.) Рост энергии частицы при этом сопровождается увеличением потерь из-за взаимодействия с реликтовым излучением. Оценки, выполненные автором¹⁶, показывают, что при разумных предположениях максимальная энергия, приобретаемая частицей в таком мысленном эксперименте, оказывается порядка 10^{28} эВ. Случаен ли этот результат, или в природе существует верхняя граница для энергии элементарной частицы и соответствующее ограничение снизу на длину волны излучения? Такое ограничение могло бы иметь принципиальное значение, если бы выяснилось, что меньшие длины не имеют физического смысла. В этом случае подтвердилось бы развивавшееся ранее М. Борном предположение о том, что пространство импульсов замкнуто. Такая возможность соответствует второй трактовке физического смысла планковской длины.

Мы изложили определенную точку зрения на некоторые проблемы современной теории гравитации, которые нам представляются наиболее актуальными сегодня. Однако не следует забывать, что, когда обсуждаются подобные проблемы, речь, в сущности, идет о будущем науки (или о науке будущего) и здесь как нельзя более кстати звучит знаменитое предостережение Н. Винера: «Самая большая ошибка предсказаний — это чересчур узкое проецирование в будущее сегодняшних возможностей науки».

¹⁶ См. сноску 6.

¹⁵ Имеются в виду мысленные эксперименты типа тех, что оказались столь полезными для трактовки соотношения неопределенностей Гейзенберга в квантовой механике.

Первый советский компьютерный томограф

А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин, И. Б. Рубашов, А. А. Тимонов

В 1896 г., через год после того, как В. Рентген обнаружил всепроникающее излучение, носящее с тех пор его имя, он же создал первый рентгеновский аппарат. Тогда аппарат Рентгена не только казался, но и был чудом. Достаточно полистать газеты того времени, чтобы ощутить восторг современников — человеку впервые удалось заглянуть внутрь собственного живого тела. С помощью рентгеновских лучей можно увидеть все! И хотя сейчас это представляется довольно наивным, факт появления почти сто лет тому назад нового революционного метода в диагностике неоспорим.

Революция в диагностике заключалась в том, что рентгеновский аппарат предоставил в распоряжение врача во много раз больше информации, чем существовавшие ранее технические средства. Собственно, вот это трудно осознаваемое резкое увеличение информации и воспринималось как чудо.

Но очень скоро выяснилось, что возможности рентгеновской диагностики не безграничны. Рентгеновская съемка представляет собой регистрацию теневого изображения различных объектов, получаемого при их просвечивании рентгеновскими лучами. Однако теневые изображения внутренних органов человеческого тела накладываются одно на другое, что весьма затрудняет последующую расшифровку снимков. Приходится только удивляться искусству рентгенологов, уверенно (к сожалению, не всегда) «читающих» рентгеновские снимки, на которых непосвященный более или менее отчетливо видит лишь кости. Кроме того, рентгеновское изображение как правило слишком темное, так как доза облучения при съемке и чувствительность пленки ограничены.

Эти два недостатка ослабляют позиции рентгенодиагностики в медицине. Казалось, они свойственны самой ее природе

и неустранимы. Но в 1971 г. был сделан второй крупный шаг. Через 75 лет после рентгеновского аппарата появился первый рентгеновский компьютерный томограф. Открытие рентгеновских лучей отмечено Нобелевской премией 1901 г., создание рентгеновского компьютерного томографа — Нобелевской премией 1979 г.¹ Как в свое время рентгеновский аппарат, так и сейчас компьютерный томограф предоставил в распоряжение врача неизмеримо больше информации, чем любое другое существовавшее до него диагностическое средство. Впервые на экране компьютерного томографа врач явственно увидел внутренние органы, в том числе мозг живого человека.

Первый советский рентгеновский компьютерный томограф СРТ-1000 разработан в отделении медицинской электротехники Всесоюзного научно-исследовательского проектно-конструкторского и технологического института кабельной промышленности и установлен в Институте неврологии АМН СССР в 1980 г. Позднее томографы СРТ-1000 появились и в ряде других клиник нашей страны.

Резкое увеличение получаемой полезной информации в рентгеновском аппарате достигалось за счет применения проникающего излучения — рентгеновских лучей. Последний же информационный скачок связан с реализацией нового принципа диагностики (компьютерной томографии) — восстановления характеристик внутренней структуры исследуемого объекта по данным измерений во многих (сотни и более) направлениях.

¹ Подробнее об этом см.: Власов П. В., Свиридов Н. К. Лауреаты Нобелевской премии 1979 г. По медицине — Г. Н. Хаунсфилд и А. М. Кормак. — Природа, 1980, № 1, с. 91.



Андрей Николаевич Тихонов, академик, директор Института прикладной математики им. М. В. Келдыша АН СССР, декан факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Создатель ряда научных направлений в математике, в частности теории некорректно поставленных задач и методов их решения. Научные работы посвящены также топологии функциональному анализу, теории дифференциальных уравнений, математической физике и вычислительной математике. В настоящее время занимается главным образом математическими методами интерпретации результатов наблюдений. Автор нескольких учебников и монографий, в том числе: Уравнения математической физики. М., 1980 (совместно с А. А. Самарским); Методы решения некорректных задач. М., 1974 (совместно с В. Я. Арсениным). Герой Социалистического Труда. Лауреат Ленинской и Государственных премий СССР.

Василий Яковлевич Арсенин, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом того же института. Специалист по теории и методам решения некорректно поставленных задач и математическим методам обработки результатов физических экспериментов. Автор ряда книг, в том числе: Методы математической физики. М., 1974; Методы решения некорректных задач.

Игорь Борисович Рубашов, доктор физико-математических наук, профессор, главный конструктор и научный руководитель Министерства электротехнической промышленности СССР по вычислительной томографии, заместитель директора Всесоюзного научно-исследовательского проектно-конструкторского и технологического института кабельной промышленности. В настоящее время занимается проблемами теории компьютерной томографии и конструирования компьютерных томографов. Автор монографий: Электрогазодинамика. М., 1971 (совместно с Ю. С. Бортниковым); Методы теории теплообмена. М., 1974 (совместно с Г. Ф. Мучником).

Александр Анатольевич Тимонов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института, руководитель группы математических методов компьютерной томографии. Основные научные интересы связаны с теорией и методами решения некорректно поставленных задач и их приложениями.

ОСОБЕННОСТИ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ

Часто при анализе тех или иных количественных характеристик $f(x)$ исследуемого объекта непосредственно измерить их невозможно и удается наблюдать лишь их косвенные проявления — некоторые

функции $u(x)$, которые представляют собой часть исходных данных задачи (x — координаты точки, в которой производится измерение). В таких случаях требуется интерпретация результатов измерений. Описанная ситуация характерна и для обычной медицинской диагностики. Так, врач, простукивающий грудную клетку или прослу-

шивающий пациента стетоскопом, воспринимает звуковую информацию, которую он интерпретирует, используя собственный опыт и опыт других врачей. В рентгенографии на пленке наблюдается результат просвечивания (например, грудной клетки) рентгеновским излучением, т. е. совокупность в разной степени затемненных участков (рентгенограмма), которая затем также расшифровывается специалистами.

Если просвечивать тело пациента в нескольких направлениях, то объем получаемой информации увеличивается и, следовательно, диагностика становится надежнее. Но при этом возрастают и трудности интерпретации. В рентгеновских компьютерных томографах фиксируется результат прохождения малых доз рентгеновского излучения через тонкий плоский слой исследуемого органа (скажем, головного мозга) в большом числе направлений; иными словами, регистрируется огромный объем информации. Его человеческий мозг не в состоянии интерпретировать без помощи ЭВМ, поскольку эта интерпретация оказывается слишком сложной.

Математически задача интерпретации формулируется следующим образом. Пусть некоторая функция $K(x,t)$ описывает особенности физических процессов, происходящих в исследуемом объекте, или характеризует измерительную аппаратуру. В частности, в рентгеновском компьютерном томографе функция $K(x,t) = K(x-t)$ может описывать «отклик» измерительной системы на импульс рентгеновского излучения (такую функцию принято называть аппаратурной функцией системы). Необходимо при известных функциях $K(x,t)$ и $u(x)$ найти решения $f(t)$ интегральных уравнений типа:

$$\int_a^b K(x, t) \cdot f(t) dt = u(x). \quad (1)$$

Подобные задачи получили название некорректно поставленных. Для этих задач не выполняется хотя бы одно из трех условий:

- решение задачи существует;
- оно единственно;
- оно устойчиво по отношению к малым изменениям исходных данных².

При реализации любого вычислительного алгоритма решения задачи (1) на ЭВМ наиболее часто приходится сталкиваться с

проблемой неустойчивости решения, т. е. с нарушением третьего условия. Это означает, что сколь угодно малым изменениям исходных данных (например, результатов томографических измерений) могут отвечать как угодно большие изменения решения.

Чтобы понять, как возникают такие задачи в компьютерной томографии, рассмотрим принцип действия компьютерного рентгеновского томографа.

Узкий пучок рентгеновского излучения, формируемый рентгеновской трубкой, пронизывает тело пациента и попадает в детектор. Детектор измеряет интенсивность $q(l, \theta)$ прошедшего излучения на прямых $L(l, \theta)$ характеризируемых параметрами l — сдвигом относительно начала и θ — углом поворота в декартовой системе координат (X, Y) . Электронная схема усиливает электрические сигналы, вырабатываемые детектором, преобразует их в цифровую (дискретную) форму и направляет в вычислительный комплекс, содержащий мини-ЭВМ.

В процессе исследования рентгеновская трубка и жестко связанный с ней детектор движутся вокруг головы пациента, оставаясь на одной прямой, лежащей в плоскости, перпендикулярной оси его тела. За счет этого пучок, непрерывно выходящий из трубки, как бы «охватывает» голову, пронизывая ее по всем возможным (для данной конструкции томографа) прямолинейным направлениям, или, как говорят, осуществляет сканирование. Во время сканирования сигналы из детектора непрерывно поступают в ЭВМ, которая восстанавливает изображение сечения объекта плоскостью сканирования. Это изображение, воспроизводимое на экране дисплея и называемое томограммой, представляет собой конечный результат работы компьютерного томографа. Томограмма и дает врачу возможность детально рассмотреть внутреннюю структуру изучаемого слоя мозга.

На результатах измерения величины $q(l, \theta)$ сказывается влияние измерительного комплекса (шумы), в результате чего вместо нее получают другую функцию

$$\int_{-\infty}^{\infty} K_A(l-l', \theta) \cdot q(l', \theta) dl' = p(l, \theta), \quad (2)$$

где $K_A(l, \theta)$ — аппаратурная функция, характеризующая измерительный комплекс. Таким образом, для получения томограммы требуется: 1. «Устранить» влияние из-

² Под исходными данными задачи подразумеваются значения функций $u(x)$, $K(x, t)$ и т. п.

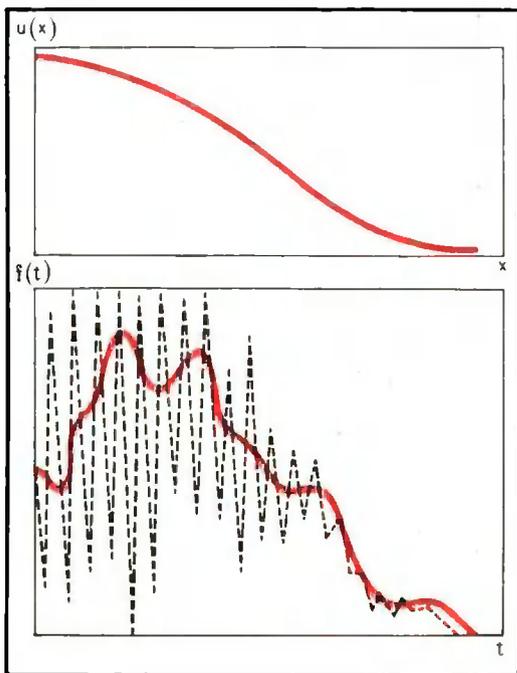


Иллюстрация неустойчивости задач вида (1) на примере уравнения

$$\int_a^b K(x, t)f(t)dt = u(x),$$

правая часть которого $u(x)$, моделирующая реально измеряемый спектр источника нейтронов, изображена на верхнем рисунке. При точном задании $u(x)$ решением этого уравнения служит функция $f(t)$, представляющая собой истинный спектр (выделена цветом). Если же возмутить случайным образом функцию $u(x)$ в пределах всего 1% от ее значений, то решением уравнения будет совершенно непохожая на $f(t)$ функция $F(t)$ (пунктир).

мерительного комплекса, для чего необходимо по результатам томографических измерений $p(l, \theta)$ найти значения $q(l, \theta)$, т. е. решить относительно этой функции уравнение (2). 2. По определенным значениям $q(l, \theta)$ реконструировать изображение плоского сечения исследуемого органа. Для этого надо решить относительно $f(x, y)$ уравнение³

$$\iint_{-\infty}^{\infty} \frac{f(x', y') dx' dy'}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}} = S(x, y),$$

³ Величина $S(x, y)$ в компьютерной томографии представляет собой результат так называемого «обратного проецирования» и описывает «размытое» изображение исследуемого

где

$$S(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} q(l, \theta) d\theta, \quad l = x \cos \theta + y \sin \theta.$$

3. Представить это изображение в виде, удобном для визуализации на экране дисплея, например преобразовать функцию $f(x, y)$ в распределение яркости $w(x', y')$ точек раstra на экране с учетом известной аппаратурной функции $\tau(r, r')$ воспроизводящего устройства⁴; иными словами, решить относительно $w(x, y)$ интегральное уравнение

$$\int_{-\infty}^{\infty} \tau(r, r') \cdot w(r') dr' = f(r), \quad (4)$$

$$r = (x, y), \quad r' = (x', y').$$

Когда исходные данные $u(x)$ представляют собой результат измерений, они содержат случайные погрешности и, следовательно, речь может идти лишь о нахождении приближений к решению задачи. Как указывалось выше, эти приближения должны быть устойчивы по отношению к малым изменениям исходных данных, в противном случае они не будут иметь никакого смысла. Если под приближениями к решению понимать, как это принято при классическом подходе, точные решения задачи с приближенными исходными данными, то такого решения может и не существовать. Так, при достаточно гладкой⁵ по переменной x функции $K(x, y)$ уравнение (1)

органа. Эта нечеткость изображения обусловлена тем, что отдельная точка на нем «размазана» функцией $(x^2 + y^2)^{-1/2}$, аппроксимирующей в некотором смысле δ -функцию Дирака. Таким образом, для восстановления резкого изображения $f(x, y)$ необходимо решать уравнение (3). Более строгий вывод этого уравнения приводится в работе: Тихонов А. Н., Арсенин В. Я., Рубашов И. Б., Тимонов А. А. Препринт Ин-та прикл. матем., № 141, М., 1982.

⁴ Воспроизводящими устройствами в компьютерной томографии служат полутонные дисплеи, в которых диапазон значений, принимаемых функцией $f(x, y)$, соответствует определенному диапазону полутонов от черного до белого (существуют также цветные полутонные дисплеи). Число используемых полутонов в таком диапазоне должно быть достаточно велико (не менее 64). Это повышает точность отображения особенностей функции $f(x, y)$ при визуализации. Кроме того, экспериментально установлено, что при этом улучшается качество изображения.

⁵ Гладкой в математике называют функцию, непрерывную вместе со своими производными (в данном случае частными) до определенного порядка.

не для всякой даже непрерывной правой части $u(x)$ имеет решение. Стало быть, мы сталкиваемся здесь с некорректно поставленной задачей интерпретации результатов измерений.

Как же искать устойчивые приближения к решениям некорректных задач, неизбежно возникающих при томографических измерениях? Классический подход не позволяет ответить на этот вопрос. Если, например, искать приближенные решения, пользуясь обратными преобразованиями Радона или Фурье, полученные решения могут оказаться физически неинтерпретируемыми⁶. Применение этих преобразований к решению математических задач компьютерной томографии представляет собой пример реализации классического подхода к построению приближенных решений указанных задач, не гарантирующего их устойчивости по отношению к малым изменениям исходных данных. Необходимо, следовательно, принципиально новый подход к построению устойчивых приближений к решениям некорректных задач.

Такой подход разработан советскими математиками. В основе его лежит использование всей информации о задаче, в том числе о погрешностях исходных данных. Этот подход получил название принципа регуляризации⁷. С помощью принципа регуляризации

построены алгоритмы решения задач интерпретации результатов томографических измерений и создано математическое обеспечение первого советского компьютерного томографа СРТ-1000.

Отметим, что при разработке математического обеспечения СРТ-1000 не представлялось возможным использовать математическое обеспечение зарубежных рентгеновских компьютерных томографов. Судя по доступным публикациям, алгоритмы интерпретации результатов измерений (точнее, построение томограмм) в зарубежных компьютерных томографах базируются на упомянутых обратных преобразованиях Радона или Фурье. Но эти преобразования, как указывалось выше, не всегда (не при всяких реальных исходных данных) имеют смысл и, кроме того, они неустойчивы по отношению к их малым изменениям. Поэтому для получения устойчивых результатов пользуются определенным способом сглаживания — так называемой интуитивной регуляризацией, характер которой может быть очень различным и сохраняется в строжайшем секрете фирмами, производящими компьютерные томографы. Однако подобные приемы обычно не позволяют улучшить приближение к точному решению при уменьшении погрешностей томографических измерений или осуществить гибкую перестройку алгоритма и математического обеспечения в соответствии с вносимыми в конструкцию томографа изменениями⁸.

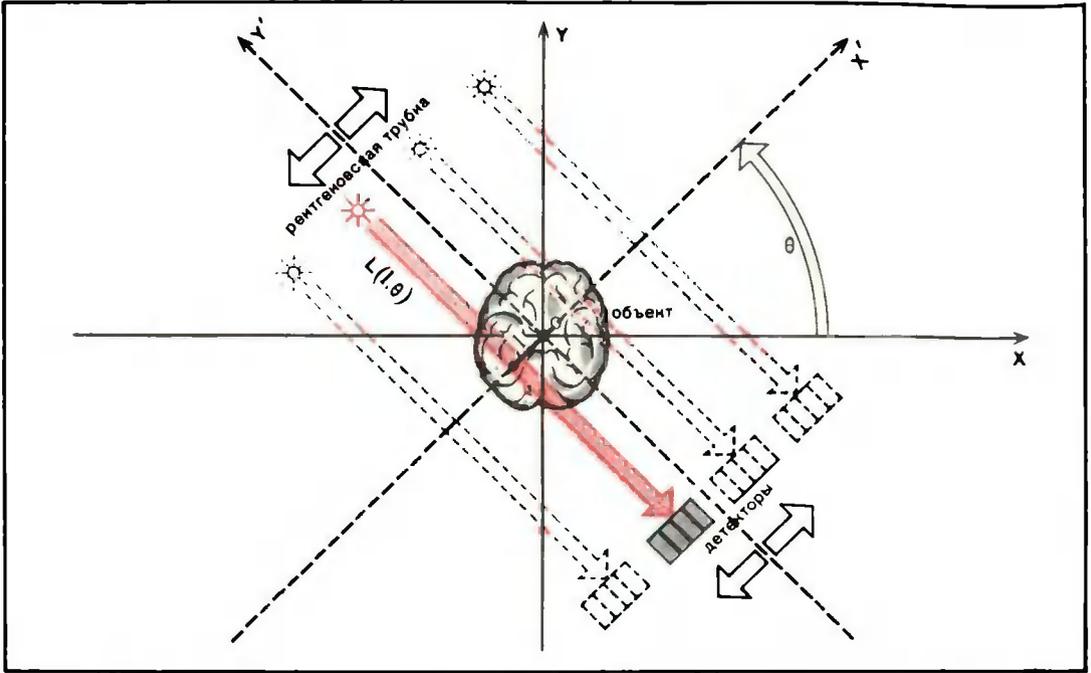
В СРТ-1000 в основу разработки математического обеспечения положена специальная форма принципа регуляризации, получившая название локальной регуляризации⁹. Этот метод автоматически обеспечивает лучшее приближение к решению задачи интерпретации томографических измерений при уменьшении их погрешностей. В результате достижимое в СРТ-1000 разрешение оказывается значительно выше, чем в аналогичных зарубежных томографах.

⁶ В компьютерной томографии исходные данные таковы, что как правило обратное преобразование Радона не существует, а если и существует, то не обладает устойчивостью. Подробно о применении этого преобразования в компьютерной томографии рассказывается в статье: Бухштабер В. М., Гиндикин С. Г. От принципа Кавальери к томографу. — Природа, 1983, № 6, с. 12.

⁷ Суть принципа регуляризации можно проиллюстрировать следующим образом. Пусть надо найти приближенное решение уравнения (1), которое при некотором выборе правой части $u_0(x)$ имеет единственное решение $f_0(t)$. Но в действительности, вместо $u_0(x)$ нам известна другая функция $u_\delta(x)$, отличающаяся от $u_0(x)$ не более чем на малую величину δ . Естественно в этом случае приближенное решение уравнения (1) искать в классе F_δ функций $f_\delta(t)$ таких, что любая функция $u(x)$ из правой части уравнения (1) отличается от $u_\delta(x)$ не более чем на δ . Однако среди таких функций $f_\delta(t)$ из класса F_δ могут оказаться и неустойчивые к малым изменениям $u(x)$, т. е. класс F_δ слишком широк. Принцип регуляризации позволяет отобрать из класса F_δ только те $f(t)$, которые устойчивы по отношению к малым вариациям $u(x)$. Такой отбор производится с учетом дополнительной информации о решаемой задаче. Подробнее о принципе регуляризации см.: Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М., 1974.

⁸ Например, при использовании обратного преобразования Фурье для получения устойчивого приближения интегрирование проводят по конечному промежутку, выбираемому из «физических» соображений, т. е., вообще говоря, несогласованно с характером исходных данных. Поэтому такой алгоритм не адаптируется к особенностям измерительного комплекса и уровню погрешностей результатов измерений.

⁹ Арсенин В. Я., Тимонов А. А. Препринт Ин-та прикл. матем., № 40, М., 1983.



Принцип действия рентгеновского компьютерного томографа. Источник излучения (рентгеновская трубка) формирует узкий пучок рентгеновских лучей, который пронизывает тело пациента и попадает на детектор. Детектор регистрирует интенсивность $q(l, \theta)$ рентгеновского излучения, прошедшего через исследуемый объект вдоль прямых $L(l, \theta)$, характеризуемых параметрами l — сдвигом относительно начала и θ — углом поворота в декартовой системе координат $[X, Y]$. Электрические сигналы, вырабатываемые детектором, усиливаются и преобразуются в цифровую форму электронными устройствами томографа, после чего направляются в ЭВМ.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА

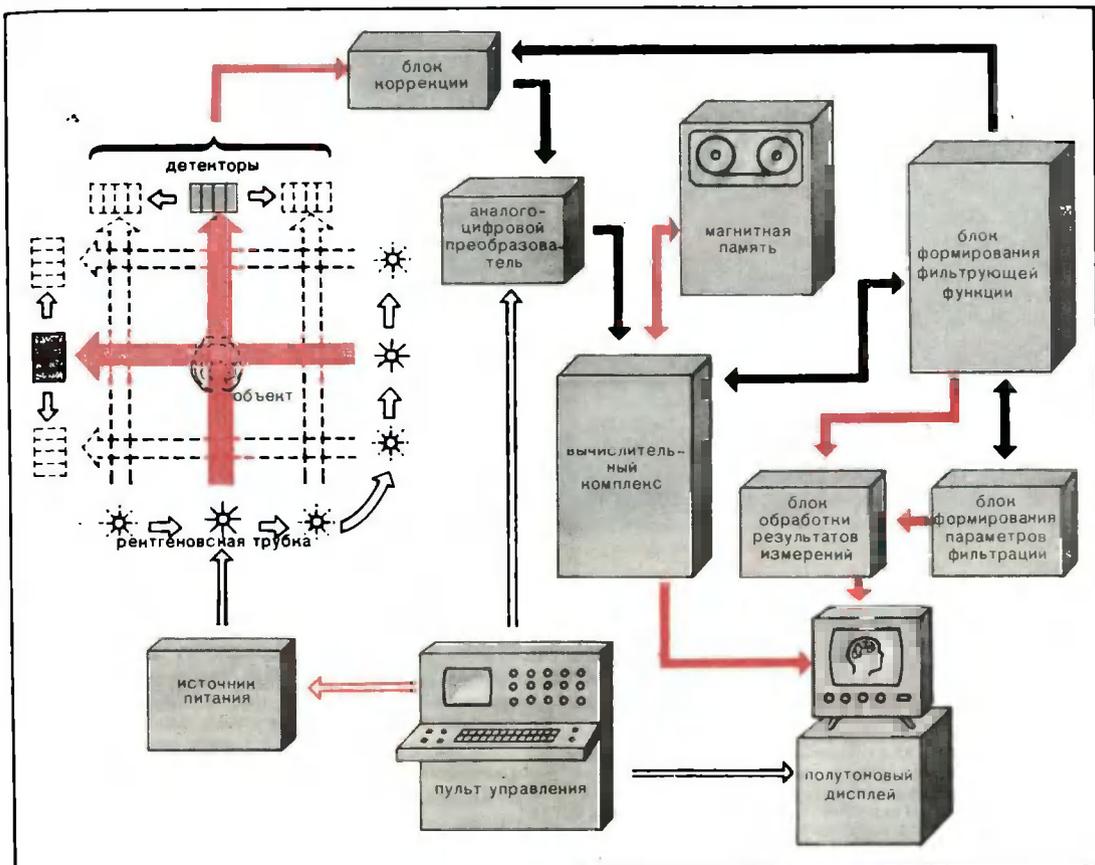
Важнейшая характеристика компьютерного томографа — его разрешение, т. е. способность различать пространственные изменения изучаемого распределения коэффициента ослабления рентгеновского излучения и контраст неоднородностей¹⁰.

При создании компьютерного томографа естественно стремиться к тому, что-

бы он обладал возможно более высокой разрешающей способностью. Достичь этого удастся, с одной стороны, совершенствуя его конструкцию, а с другой — используя эффективные методы и алгоритмы решения математических задач интерпретации результатов томографических измерений. Именно на этом пути создатели СРТ-1000 и смогли достичь преимущества по сравнению с аналогичными зарубежными томографами.

Более высокое разрешение обусловлено, прежде всего, разработкой математического обеспечения томографа на основе принципиально нового подхода к решению математических задач интерпретации результатов томографических измерений и воплощению его на базе специального электронно-вычислительного комплекса — одного из важнейших устройств компьютерного томографа. Вычислительные алгоритмы, позволяющие получить регуляризованные решения математических задач интерпретации измерений, — основа математического обеспечения компьютерного томографа СРТ-1000, а совокупность определенным образом взаимосвязанных специализированных вычислительных устройств, работающих согласно этим алгоритмам, — главная отличительная особенность его конструкции.

¹⁰ Контрастом в задачах диагностики называют относительное изменение физической величины, характеризующей исследуемый объект.



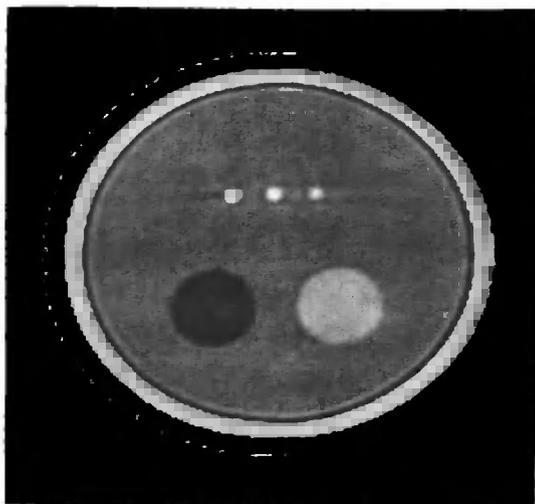
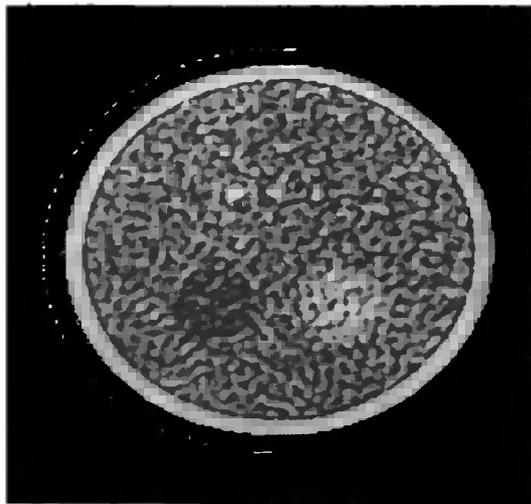
Функциональная схема компьютерного томографа СРТ-1000.

Может показаться, что вычислительные алгоритмы сравнительно нетрудно реализовать (в виде пакета программ) на достаточно мощной универсальной ЭВМ. Зачем же тогда нужно создавать для томографа специализированные вычислительные устройства? Дело в том, что в компьютерном томографе один из важнейших параметров — время получения томограммы. Более того, целесообразность применения компьютерного томографа во многих областях науки и техники (медицине, физике плазмы, при неразрушающем контроле промышленных изделий и т. п.) определяется главным образом этой характеристикой. Допустимое время в этих случаях — секунды и даже меньше. Понятно, что и продолжительность решения мате-

матических задач интерпретации результатов томографических измерений также должна быть достаточно малой. Для этого необходимо, чтобы вычислительные устройства имели быстродействие порядка миллионов операций в секунду. Ни одна из современных универсальных мини-ЭВМ не обладает таким быстродействием, а использование больших ЭВМ оказывается экономически неоправданным.

В компьютерном томографе СРТ-1000 применение специализированных вычислительных устройств привело к уменьшению времени получения томограммы с 20 мин (для мини-ЭВМ СМ-2) до 5—30 с. Дальнейшее же их совершенствование позволит осуществить этот процесс в реальном времени, т. е. иметь томограмму практически сразу после завершения измерений.

Применение принципиально новых математических алгоритмов и специализированных вычислительных устройств в компьютерном томографе дает возможность не только существенно сократить



Некоторые результаты математического моделирования компьютерного томографа — изображения модели, полученные с помощью «интуитивной» регуляризации (слева) и алгоритма с локальной регуляризацией (справа). Они иллюстрируют влияние «шума» измерительной аппаратуры на качество восстановленных изображений. Моделируемые возмущения величины $p(|, \theta)$ эквивалентны уровню «шума», равному 1 % от значения измеряемой величины. На левом рисунке отчетливо видна «рябь» — характерное проявление неустойчивости. На рисунке справа «рябь» отсутствует — и разрешение оказывается значительно выше.

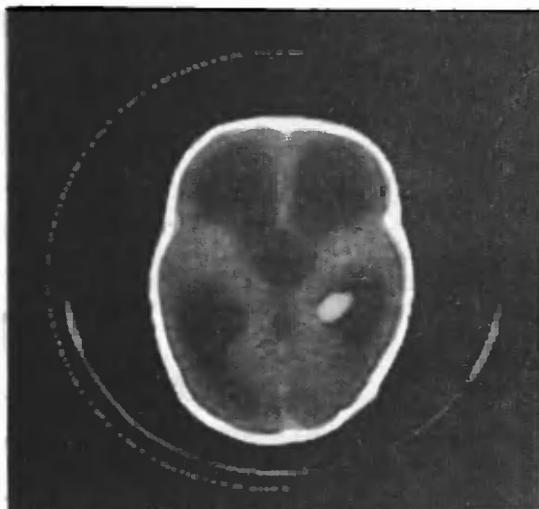
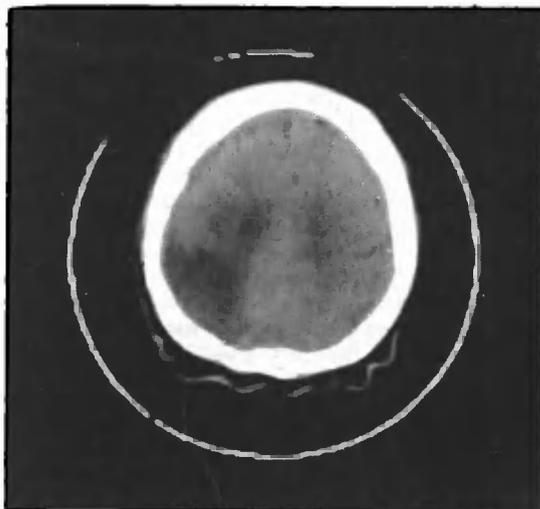
время исследований, но и получить качественно иной результат интерпретации. Так, специально разработанная для СРТ-1000 процедура локальной регуляризации делает реальной адаптацию математического обеспечения томографа к особенностям его измерительной системы и характеру искомого решения, благодаря чему удается заметно повысить разрешение. Кроме того, специализированные вычислительные устройства допускают использование одного и того же математического обеспечения при различных конструктивных решениях компьютерного томографа. Иными словами, появляется возможность создавать разные аппаратные модификации компьютерного томографа, не меняя по существу его математического обеспечения¹¹.

В зарубежных томографах, напротив, любое отличие конструкции влечет за собой серьезную переделку математического обеспечения, обусловленную изменением алгоритмов решения задач интерпретации.

Функциональная схема СРТ-1000 принципиально отличается от подобных схем зарубежных аппаратов возможностью адаптации математического обеспечения к конструктивным особенностям томографа. С этой целью в схему включены связанные между собой электронно-вычислительные устройства, предназначенные для устранения искажающего влияния аппаратной функции измерительной системы томографа (блок аналоговой коррекции), выбора алгоритма (блок формирования «фильтрующей» функции) и определения переменного параметра регуляризации (блок формирования параметров «фильтрации»). Адаптация состоит в том, что для решения задач интерпретации автоматически строятся такие алгоритмы регуляризации, которые максимально учитывают не только характер искомого решения, но и особенности измерительной аппаратуры томографа. Подобно тому как, вращая ручку настройки телевизора, мы меняем качество изображения на его экране, так и с помощью блока формирования параметров «фильтрации» можно получать томограммы различного разрешения. Этот блок позволяет наилучшим образом подстроить алгоритм интерпретации и получить томограмму, которую уже нельзя улучшить при неизменной измерительной аппаратуре.

Особые требования предъявляются и

¹¹ Такие модификации компьютерного томографа СРТ-1000 уже изготавливаются Киевским производственным объединением «Реле и автоматика».



Томограммы головного мозга человека, полученные в НИИ неврологии АМН СССР с помощью компьютерных томографов СТ-1010 (фирма EMI, Великобритания) — слева и СРТ-1000 — справа. Они дают представление о реально достижимом разрешении этих приборов. Темные участки на томограммах соответствуют областям мозга, плотность вещества в которых отличается от соседних областей всего на 0,5 %.

к источнику питания рентгеновской трубки, а также к детекторам рентгеновского излучения — «сердцу» и «глазам» компьютерного томографа. Ведь от того, насколько совершенны эти устройства, во многом зависит его разрешающая способность. Главное в источнике питания — это высокая стабильность. В противном случае при томографических измерениях будет регистрироваться не изменение интенсивности излучения из-за ослабления его в исследуемом объекте, а, например, флуктуации напряжения в электросети. Для томографа СРТ-1000 разработан специальный источник питания рентгеновской трубки, имеющий стабильность на уровне десятых долей процента. Он напоминает мини-электростанцию, питаемую от сети. Выходной каскад этой своеобразной электростанции представляет собой мотор-генератор, работающий при повышенной частоте (около 1000 Гц).

Немаловажную роль в обеспечении разрешающей способности играют также механическая система сканирования и электронные блоки регистрации результа-

тов измерений. Хотя принципиальные решения этих узлов СРТ-1000 не отличаются от известных зарубежных образцов, однако при их разработке пришлось столкнуться со сложными техническими задачами, поскольку в отечественном приборостроении многое выполнялось впервые. Первые образцы компьютерного томографа СРТ-1000 снабжены сцинтилляционными детекторами рентгеновского излучения, которые обладают приемлемой эффективностью регистрации. Последующие модели советских компьютерных томографов предполагается оснастить специальными детекторами с более высокой эффективностью регистрации и меньшим шумом (к их числу относятся, прежде всего, полупроводниковые детекторы на базе теллурида кадмия).

КВАЗИРЕАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА

Известно, что при создании современных ЭВМ затраты на разработку их математического обеспечения в 2—3 раза превышают расходы на конструирование. Аналогичная ситуация складывается сейчас и при создании компьютерных томографов.

Бытует мнение, что компьютерные томографы выпускаются чуть ли не десятками зарубежных фирм, конкурирующих друг с другом на рынке сбыта. Это заблуждение. Действительно, десятки фирм начали разработку томографов, но серийно производят их лишь промышленные гиганты («Дженерал Электрик» в США, «Сименс» в ФРГ и некоторые другие). Разра-

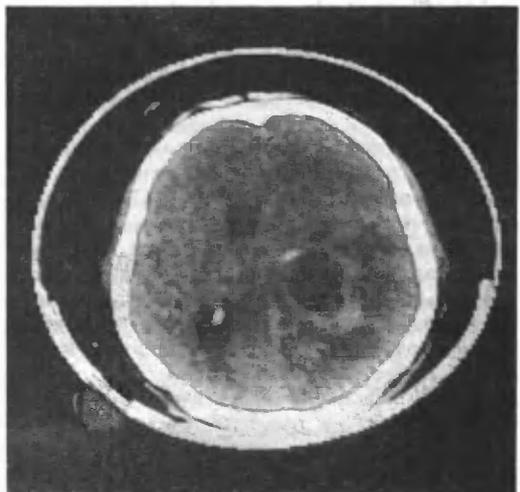
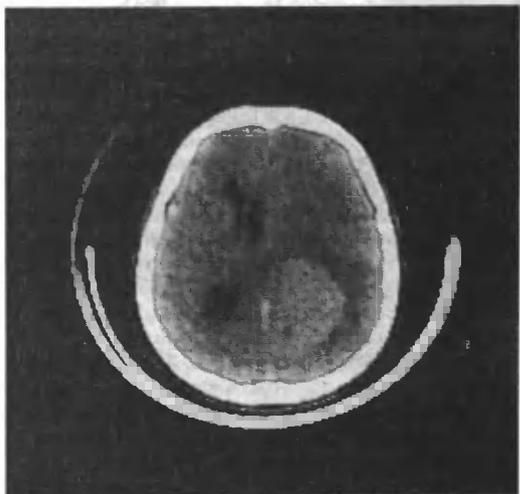


Иллюстрация использования томографа СРТ-1000 в клиниках. Томограммы головного мозга человека, полученные в НИИ неврологии АМН СССР. Соответствующие им диагнозы (сверху вниз): инфаркт головного мозга; инсульт; злокачественная опухоль.

ботка и производство компьютерных томографов требуют огромных капиталовложений, которые не под силу малым и средним предприятиям. Крупнейшие же зарубежные компании широко используют для этого свои научно-исследовательские центры и сотрудничают с университетами. Понятно, что эффективность и экономичность разработок как конструкции компьютерных томографов, так и их математического обеспечения приобретают особое значение.

Для повышения этих показателей весьма полезным оказывается так называемое квазиреальное моделирование, т. е. имитация на ЭВМ всех операций, осуществляемых в томографе, а также модельное описание самого исследуемого объекта и взаимодействия излучения с веществом. Для такого моделирования необходима хорошо развитая и гибкая система алгоритмов и программ. Моделирование компьютерного томографа включает, конечно же, и нахождение приближений к решениям задач интерпретации результатов измерений. Осуществляя все эти операции на ЭВМ, мы получаем возможность провести квазиреальный эксперимент, иными словами, как бы экспериментировать с компьютерным томографом, не создавая его в действительности. Важно, что при этом удастся исследовать и такие его характеристики (отдельные конструктивные решения, алгоритмы и т. п.), которые нельзя изучить на реальном томографе. Очевидно также, что поиск оптимального (для заданных условий) режима работы томографа, изучение его конструкции и других свойств с помощью квазиреального математического моделирования несравненно дешевле и гораздо эффективнее, чем прямые эксперименты.

Расскажем вкратце, как при разработке математического обеспечения СРТ-1000

использовалось это моделирование¹². Зададимся схемой сканирования и величиной $q(l, \theta)$ интенсивности прошедшего рентгеновского излучения для модели исследуемого объекта (головы человека). Затем с учетом аппаратурной функции томографа вычислим «искаженные» значения $p(l, \theta)$ результатов «измерений» и возьмем их, моделируя тем самым статистические флуктуации излучения источника и погрешности измерительной аппаратуры. Полученные таким образом значения $\tilde{p}(l, \theta)$ моделируют реальные измерения. По этим значениям последовательно находятся регуляризованные решения математических задач (2)—(4) компьютерной томографии. В итоге формируется изображение исходной модели, как бы «пропущенное» через моделируемый томограф. Повторяя эти действия, мы сумеем исследовать влияние всех интересующих нас условий, параметров или конструктивных особенностей томографа. В частности, с помощью квазиреального математического моделирования удалось продемонстрировать эффективность алгоритмов нахождения регуляризованных решений задач (2)—(4) и определить области их эффективного применения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Компьютерный томограф СРТ-1000 уже свыше двух лет действует в Институте неврологии АМН СССР.

Клиническая апробация и описание результатов, полученных с его помощью, — предмет специальной статьи, и авторы, не медики по образованию, не могут здесь вдаваться в детали. Но мы позволим себе привести мнение директора НИИ неврологии АМН СССР академика АМН СССР Е. В. Шмидта, высказанное им в интервью корреспонденту Госкомитета СССР по телевидению и радиовещанию в 1982 г.

На вопрос о том, как прошли государственные медицинские испытания отечественного рентгеновского компьютерного томографа, Е. В. Шмидт ответил:

«Очень успешно. С помощью этого уникального аппарата обследовано около 500 человек¹³. Метод компьютерной томо-

графии имеет исключительно важное значение для диагностики заболеваний мозга. С его помощью впервые в истории врач получил возможность заглянуть внутрь мозга человека без оперативного вмешательства и даже без введения контрастных веществ. Этот метод абсолютно безвреден и совершенно нетягостен для больного.

Ранняя и точная диагностика — основа эффективного лечения. И поэтому тот качественный скачок, который произвела в диагностике компьютерная томография, сопоставим лишь с открытием в свое время рентгеновских лучей...

Советские рентгеновские томографы демонстрировались на Международной выставке «Электро-82», где отмечалось, что ряд научных и технических достижений, заложенных в их основу, не имеет аналогов за рубежом.

В настоящее время компьютерный томограф СРТ-1000 успешно эксплуатируется в ряде крупнейших клиник страны. С его помощью обследованы многие больные и в подавляющем большинстве случаев поставлены диагнозы, недоступные обычной диагностической технике. Все это подтверждает высокую эффективность применения компьютерных томографов в медицинской диагностике.

Уже ведутся исследования и разработки компьютерных томографов, основанных на использовании других видов излучения, например ультразвукового, а также электромагнитного в СВЧ- и радиодиапазонах.

Широкие перспективы открываются перед компьютерными томографами не только в медицине, но и в других областях науки и техники. Можно смело утверждать, что у этого нового и весьма информативного средства изучения внутренней структуры самых разнообразных объектов — большое будущее.

¹² В создании комплекса математического обеспечения компьютерного томографа СРТ-1000 принимал участие А. В. Пестряков.

¹³ К настоящему времени — тысячи тяжело больных.

Человечество устремляется к морям

С. И. Брук, В. В. Покшишевский



Соломон Ильич Брук, доктор географических наук, заместитель директора Института этнографии им. Н. Н. Миклухо-Маклая АН СССР. Специалист в области этнической географии и демографии. Автор книги: *Население мира. Этнодемографический справочник*. М., 1981.



Вадим Вячеславович Покшишевский, доктор географических наук, старший научный сотрудник-консультант того же института. Специалист по экономической географии и географии населения. Книги: *География населения зарубежных стран*. М., 1971; *Население и география. Теоретические очерки*. М., 1978; *География мирового процесса урбанизации* (в соавторстве с Г. Н. Озеровой). М., 1981 и др.

Мировой океан долгие тысячелетия был почти непроходимым барьером для расселения человечества. Лишь существовавшие в далеком геологическом прошлом «мосты суши» (так называемая Берингия между Чукоткой и Аляской, район нынешних Зондских островов между Азией и Австралией и др.) позволили первобытному человеку переселиться из Старого Света на заокеанские материки. Связи между континентами в те времена были редкими, случайными.

Ресурсы Мирового океана для наших далеких предков были доступны лишь в малой степени: прибрежное рыболовство, собирательство моллюсков и съедобных во-

дорослей во время отливов и т. д. Жизнь большинства народов была связана не столько с побережьями, сколько с внутриконтинентальными пространствами, в том числе — с долинами крупных рек. Однако с развитием производительных сил и по мере совершенствования мореходных средств жители побережий постепенно овладевают приемами мореплавания. И хотя ресурсы самой океанической среды по-прежнему играют в их жизни второстепенную роль (исключение — полинезийцы и другие островитяне, а также представители хозяйственно-культурного типа морских охотников и рыболовов арктических побережий, например предки нынешних эскимосов),

люди постепенно начинают ценить океаническую среду и за ее транспортные средства — передвижение по ней намного легче, чем по суше.

МОРЯ И ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ НАРОДОВ

Моря (первое время — лишь внутренние) стали с течением времени все больше использоваться для обмена продуктами. Плавание по ним, сперва в виду берега, а затем и с «отрывом» от него, становятся важным условием, способствующим в ряде мест развитию раннеклассовых государств. Так, в древней Греции и Финикии акватория Средиземноморья широко использовалась для торговли, а также в качестве пути для образования новых городов-колоний. Греки настолько остро ощущали важность выхода к морям, что во время знаменитого описания Ксенофонтом (V—IV вв. до н. э.) в сочинении «Анабасис» отступления их армии через внутренние районы Малой Азии почувствовали себя уверенно, только увидев Черное море. Их возглас «Таласса, таласса!» («Море, море!») запечатлен в истории как символ привязанности к морским просторам. Лишь выйдя к морю, греки обрели уверенность, что теперь они найдут путь на родину — ведь Мировой океан «непрерывен».

Современник Ксенофонта Платон сравнил государства, расположенные вокруг Средиземного моря, с лягушками, сидящими вокруг пруда. Позже экономический потенциал Римской империи в значительной мере обусловливался тем, что она господствовала над странами всего побережья Средиземного моря.

На противоположном конце Евразии морские связи играли не менее важную роль для племен и народов, населявших островную часть Юго-Восточной Азии.

В раннем средневековье на севере Европы большую активность на морях проявляли скандинавские викинги («норманны» в западноевропейских странах, «варяги» на Руси). Они проникают — то как наемные воины, то как завоеватели — во владения Новгорода, на побережья Франции и Англии, а по рекам — и в глубинные районы этих стран. Добираются их флотилии и до средиземноморских стран (Южная Италия, Византия). Мореходные средства скандинавов позволили им не только плавать по внутреннему Балтийскому морю, «полувнутреннему» Северному, вдоль всех берегов Западной Европы,

но и дерзая выходить в открытый океан: на IX в. они колонизируют Исландию, в X в. достигают и Гренландии.

Известны дальние плавания арабов по Индийскому океану и далее к берегам Китая и некоторым странам Юго-Восточной Азии.

Несмотря на эти успехи в транспортном использовании вод открытого океана, решительный перелом в развитии транс-океанических коммуникаций, в немалой степени связанный с появлением нового типа судов — каравелл, происходит лишь в XV в. В самом конце этого века упорные поиски португальцев увенчались достижением Индии (плавание Васко да Гамы вокруг Африки), а плавание Колумба «поперек» Атлантики привело к открытию Америки. С этого времени в наиболее выигрышном географическом положении оказались в Европе страны, выходящие своими побережьями к Атлантическому океану — Испания, Португалия, Англия, Нидерланды, Франция.

Начиная с XVI—XVII вв. океаническая среда начинает играть все большую роль в перераспределении людских масс. Трансокеанические миграции становятся предпосылкой формирования ряда народов, ранее не существовавших на нашей Земле. Огромный размах работорговли привел в Америку многомиллионные контингенты черных невольников — коренных жителей Африки¹; эмиграция из стран Европы, продолжающаяся вплоть до настоящего времени, дала Америке более 70 млн человек, в том числе только Соединенным Штатам Америки — почти 55 млн. Более 9/10 современного населения этой части света — потомки выходцев Европы и Африки. Трансокеанические миграции определили также состав современного населения Австралии и Новой Зеландии (в подавляющей части это выходцы с Британских о-вов), обусловили наличие значительной прослойки белого населения в Южной Африке (голландского и английского происхождения). Достаточно массовыми были и миграции из южных районов Китая в страны Юго-Восточной Азии; шли они, естественно, тоже морскими путями.

¹ Считают, что работорговля (с учетом массового истребления чернокожих во время войн, связанных с захватом рабов) отняла у Африки до 100 млн жителей. Условия перевозки африканцев были настолько тяжелыми, что от 1/3 до 1/2 их ггло в пути, не достигнув невольничьих американских рынков.

Характер очертаний суши во многом предопределяет значение для обитающих на ней людей связей с морем. Чем изрезаннее суша, чем глубже проникают во внутренние ее районы заливы и фиорды, тем больше вероятности, что море будет играть в жизни соответствующего народа заметную роль. Способствует этому и наличие мощных водных потоков, связывающих глубинные районы с морем. И наоборот: массивные участки суши способствуют тому, что хозяйство и культура развиваются по «внутриконтинентальному» образцу — с центрами, складывающимися не у побережий, а в глубине суши. Именно такой — «континентальной» — долгое время была история русского народа (хотя на очень трудных в навигационном отношении морях Севера русские рано показали высокое мастерство мореходства). Примеры народов, исторически связанных только с сухопутными просторами, — казахи, монголы, большинство других народов Центральной Азии.

В историко-географической литературе в последнее время стал употребляться термин «талассоаттрактивность» (от греч. *thalassa* — море и англ. *to attracte* — привлекать), которым обозначают степень тяготения того или иного народа к морю. Эта степень всегда определялась конкретными историческими условиями развития народа; изрезанность суши — лишь условие, но не причина повышенной талассоаттрактивности. Англичане стали «морским народом» только после эпохи великих географических открытий, японцы — лишь во второй половине XIX в.

Но независимо от степени тяготения к морю, которую можно, в частности, проследить по характерной для данного народа психологической окрашенности его отношения к морю и морским странствиям, любой крупный народ, любое государство практически всегда кровно заинтересовано в выходе к морю. Известно много случаев, когда к нему «пробивались» и государства с преобладанием внутриконтинентальных черт развития.

В качестве примера можно вновь обратиться к истории нашей страны. Владение обширными по протяженности берегами арктических морей не могло обеспечить потребности русского государства в надежных морских связях. Балтийское побережье принадлежало России лишь на небольшом отрезке вблизи устья Невы; Ливонская война, начатая Иваном IV в надежде расширить выход к морю, закончилась неудачно, а по Столбовскому ми-

ру 1617 г. Россия оказалась совершенно отрезанной от Балтийского моря. Лишь в начале XVIII в. Петр I, вступив в войну с могущественной тогда Швецией, сумел более основательно «прорубить окно» в Европу через Балтику, а в конце того же века победы русского оружия прочно закрепили за нашим государством и все северное побережье Черного моря.

Большое значение для России имел и выход широким фронтом к Тихому океану. Что же касается принадлежности нашей стране берегов Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей, то оно приобрело практическое значение лишь в советское время, после освоения Северного Морского пути.

Весьма показательны случаи, когда отсутствие прямого выхода к морю или утрата такого выхода имели отрицательное влияние. В Африке после завоевания ее народами независимости ряд государств оказался отрезанным от морских побережий. Этот факт увеличивает их экономические трудности: в своих связях с внешним миром они зависят от сухопутных коммуникаций с портами приморских государств. После Тихоокеанской войны 1879—1883 гг. Боливия оказалась отрезанной от океанского берега и экспорт ее продукции может осуществляться через чилийские либо перуанские порты.

Несколько благоприятнее положение тех не имеющих выхода к морю стран, которые связаны с ним большой, допускающей проход морских судов, рекой (Австрия, Венгрия, Чехословакия; как известно, Дунай имеет международный статус). В Южной Америке сходное положение занимает Парагвай.

Но подавляющее число современных государств мира все же имеет выходы к океану. Если не считать европейских государств-карликов вроде Андорры или Сан-Марино, то выхода к морям не имеют 5 государств в Европе, 5 — в Азии, 2 — в Южной Америке, 14 — в Африке.

МИРОВОЙ ОКЕАН — РЕСУРСНАЯ «ЦЕЛИНА» ДЛЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Выше было сказано, что долгое время ресурсы самой океанической среды не играли в жизни человечества, взятого в целом, существенной роли — извлечение биологических ресурсов из прибрежных вод имело значение только для некоторых стран, да и в них — лишь для жившего непосредственно на берегах населения.

Переход к рыболовству в открытом море, на богатых рыбой банках происходил постепенно.

На протяжении XIX в. уловы рыбы в Мировом океане, по имеющимся оценкам, выросли с 2—3 до 5—10 млн т в год, что составляло лишь незначительную часть годового прироста заключенного в рыбах органического вещества (около 200 млн т). Положение существенно изменилось в XX в. В 1938 г. годовой улов составил уже почти 19 млн т, в 1958 г. — 28 млн т, в 70-х годах до 70 млн т. Это уже около трети прироста «рыбей биомассы»! Для ряда наиболее активно добываемых мировым рыболовством видов рыб (лососевых, тресковых, сельдевых) стал наблюдаться явный «перелом».

Это истощение океанических биоресурсов все более властно требует от человечества перейти от «охоты» на «диких» рыб к аквакультуре — искусственному разведению рыбы и других организмов (в первую очередь, естественно, на мелководьях). Здесь перспективы очень хорошие.

Но возрастающее использование биологического потенциала океанической среды было лишь началом перелома в эксплуатации ресурсов самого Мирового океана. Главным в этой эксплуатации постепенно становится извлечение минеральных ресурсов. На первом месте тут стоит добыча «морской» нефти, заключенной в шельфах. Общую площадь шельфовых участков Мирового океана, перспективных в отношении газонефтеносности, оценивают сейчас в 13 млн км², геологические запасы заключенной в них нефти — примерно в 0,3 трлн т, газа — в 140 трлн м³. Морская добыча нефти дает в настоящее время до 1/4 общего итога мировой нефтедобычи, добыча газа на шельфах — около 1/10 мирового итога³.

Мировой океан начинает давать человечеству и некоторые другие минеральные ресурсы: вольфрамовые и титановые руды, магнез и фосфориты и т. д. Издавна осуществляется выпаривание из морской воды поваренной соли; сейчас около трети потребляемой мировым населением соли дает океан.

Экономические преимущества близости к морю, особенно на тех его участках, которые в навигационном отношении благоприятны для морских коммуникаций, привели в наше время к бурному раз-

витию припортовых промышленных комплексов. Раньше специфическими для них отраслями были лишь рыбная промышленность и судостроение (иногда также переработка некоторых видов сырья, которые в прошлом фигурировали под названием «колонияльных товаров» — каучука, сахара-сырца, какао-бобов и др.). Ныне же припортовые комплексы в развитых капиталистических странах «всасывают» в себя огромные грузопотоки громоздкого сырья, поступающего из развивающихся стран (нефти, железной руды, руд цветных металлов, фосфоритов и т. п.), и это обусловило размещение именно здесь, на стыках суши с океанскими пустынями многих производств, имевших ранее ориентацию преимущественно на внутренние районы: нефтепереработки, нефтехимии, черной и цветной металлургии, разнообразных химических заводов; концентрация в припортовых комплексах металлургии, в свою очередь, вызывает все большее сосредоточение здесь же многих отраслей машиностроения. Для Западной Европы характерна концентрация нефтепереработки в районе так называемого «Европорта» (Роттердам — Антверпен) — здесь сосредоточено 29 % всей нефтепереработки стран Общего рынка; еще выше в этом районе доля нефтехимических производств. Все больше заводов черной металлургии со сталелитейными цехами создается в устьях рек Западной Европы, США, Японии (Фос-сюр-Мер около Марселя и Гавр во Франции, Гамбург и Бремен в ФРГ, Балтимор и Филадельфия в США, Тиба и Кавасаки в Японии и т. д.). Вблизи же этих заводов создаются такие машиностроительные предприятия, как автозаводы («Фольксвагенверк» в Эмдене, «Рено» в Гавре, «Крайслер» в Роттердаме, «Форд» в Амстердаме и т. д.). Расположение в портовых центрах облегчает владельцам автомобильных заводов и борьбу за иностранные рынки³.

Что касается развивающихся стран, то здесь также складываются своеобразные припортовые комплексы. Через эти комплексы проходят все возрастающие потоки экспортных грузов. В них сосредоточиваются также различные трудоемкие производства (транснациональные компании

³ Покшишевский В. В. Экономическая география Мирового океана. М., 1981, с. 23.

³ Лавров С. Б. Портово-промышленные комплексы в проблеме взаимоотношений общества и природной среды в океане и региональное развитие приморских районов. — В кн.: Вопросы географии океана. Л., 1983, с. 26—30.

используют в этих производствах дешезвизну здешней рабочей силы). Наконец, развитые капиталистические страны выносят сюда ряд наиболее «грязных» производств по экологическим соображениям: здесь можно не устраивать тех дорогостоящих очистных сооружений, которые потребовались бы «дома».

КАК РАЗМЕЩЕНО НАСЕЛЕНИЕ МИРА

Географы при характеристике размещения населения выделяют такие показатели, как его плотность и соотношение городских и сельских жителей. Последнее в большинстве государств фактически определяет долю индустриального и аграрного начала в хозяйстве.

Показатель плотности населения — это не просто «арифметическое число» жителей на единицу площади земли. В нем получает известное отражение и направление хозяйства, и пригодность того или иного типа природной среды для производственной деятельности людей. В индустриально развитых странах показатель средней плотности (отношение всего населения к площади страны) из-за высокой доли горюжан неадекватно отражает характер использования территории. Поэтому часто определяют не только общую плотность, но и отдельно плотность сельского населения.

Население размещено по земному шару весьма неравномерно: наряду с обширными густозаселенными районами, где плотность сельского населения превышает 1 тыс. человек на 1 км², имеются совершенно неосвоенные людьями области. Площадь последних составляет примерно 15 % всей территории суши (приполярные районы, некоторые высокогорные области, пустыни). В то же время в наиболее густонаселенных районах мира, составляющих примерно 7 % суши, сосредоточено свыше 70 % человечества⁴.

Важный показатель размещения населения — его распределение по высотным зонам. Подавляющая часть (4/5) жителей Земли расселена сейчас на низменностях и в нескольких холмистых районах (до 500 м над ур. м.), хотя орографические области такого типа занимают лишь немногим более 1/4 всей суши.

Зависимость размещения населения от природных условий совершенно оче-

видна. Нередко эта зависимость весьма значительна, но проявляется она всегда опосредствованно, через производство, которое создает те или иные возможности для размещения и локализации населения. В ходе истории человечества влияние социально-экономических факторов на расселение все время возрастало, зависимость же его от природы постепенно уменьшалась. Следует также помнить, что воздействие людей существенно изменяет саму природу.

МИРОВОЙ ОКЕАН И РАССЕЛЕНИЕ

А как измерить возрастающую притягательную силу Мирового океана для человечества? Разумеется, можно привести данные транспортной статистики: разве не показательно, что к началу 20-х годов 70 % всего мирового грузооборота выполнялось морским транспортом? Но такие данные⁵, как и любые другие показатели, относящиеся к отдельным аспектам притяжения человеческой деятельности (экономической и непродуцированной) к морским берегам, отразят лишь какой-то один аспект. В качестве своего рода синтетического признака лучше всего избрать долю в общем населении лиц, живущих вблизи от морских побережий. Такой показатель и сам по себе достаточно интересен с точки зрения географии населения.

По нашему мнению, такой показатель хорош тем, что учитывает и исторический, и социальный, и природный фактор. При оценке природной среды следует учитывать, что вдоль берегов моря обычно расположены низменности и равнины, наиболее удобные для хозяйственного использования; приморские районы благоприятнее и в экологическом отношении для сосредоточения в них населения.

При современном развитии средств транспорта можно считать «повседневным» связанным с морем, как бы непосредственно прибрежным, население, живущее не далее 50 км от моря. Подавляющая масса жителей, расселенных в этой полосе, — это обитатели собственно приморских населенных пунктов. Население, сосредоточенное в полосе 50—200 км от побережья, можно считать уже не прибрежным, а приморским; оно связано с побережьем уже не столько на «бытовом», повседневном уровне, сколько в своей

⁴ Подробнее см.: Брук С. И. Население мира. Этнодемографический справочник. М., 1981, с. 55—64.

⁵ Покшишевский В. В. Экономическая география Мирового океана, с. 31.

хозяйственной жизни. Из этих расстояний — 50 км и 200 км — мы и будем исходить в дальнейших наших сопоставлениях.

Прежде чем сравнить доли населения, живущего в указанных выше полосах, определим приходящиеся на них доли территории. Если исключить почти сплошь покрытые ледяными цитами Антарктиду и Гренландию, то 50-километровое окаймление мировой суши охватит 12 % суммарной ее площади, а территории, удаленные от моря на 200 км, составляют 30 % мировой суши.

Сейчас можно перейти к определению долей «прибрежного» и «приморского» населения. Исчисление будет проведено нами на те даты, на которые состоят демографической статистики позволяет сделать соответствующие подсчеты. Таблица 1, во-первых, красноречиво говорит о том, насколько велика доля населения, живущего вблизи берегов морей, и, во-вторых, показывает, что тяготение населения к берегам океанов и входящих в него морей, неуклонно возрастает.

Для первых двух дат на таблице 1 исчисление произведены польским географом И. Шташевским⁶, для третьей даты — авторами статьи с помощью планиметрирования карт плотности населения частей света и отдельных стран.

Уже к 1950 г. более половины мирового населения жило не далее 200 км от моря, а более четверти в 50-километровой полосе побережий. К настоящему времени уже почти 53 % обитателей Земли живет в 200-километровом поясе, а доля живущих не далее 50 км от моря приблизилась к 30 %.

В таблице 2 приводятся данные на 1982 г. по регионам мира и по некоторым крупным странам. Из нее видно, что многие страны, в том числе и значительные по численности своего населения, целиком лежат в пределах 200-километровой приморской полосы.

Рассмотрим, как колеблется плотность населения в различных зонах в зависимости от их расстояния от моря (см. табл. 3, подсчеты произведены авторами).

В целом по миру плотность населения в прибрежной полосе (0—50 км) почти в два раза выше среднемировой, а в приморской полосе (50—200 км) — в 1,4 раза. Внутренние районы (за преде-

Таблица 1

Тяготение населения мира к морю

Даты	Доля населения [%], живущего от моря на расстоянии [км]		
	0—50	50—200	0—200
1850	24,6	24,3	48,9
1950	27,6	22,7	50,3
1982	28,6	24,1	52,7

Таблица 2

Сосредоточение населения в приморских областях разных регионов и стран (1982 г.)

Регионы мира и страны	Доля населения [%], живущего от моря на расстоянии [км]		
	0—50	50—200	0—200
СССР	8	7	15
Зарубежная Европа	31	34,5	65,5
В том числе			
Великобритания	59	41	100
Италия	55	45	100
Франция	26	50	76
Испания	35	44	79
Зарубежная Азия	30,9	23	53,9
В том числе			
Япония	92	6	98
Вьетнам	70	25	95
Китай	21	24	45
Корея	80	18	98
Индонезия	81	17	98
Индия	21	20	41
Филиппины	89	11	100
Африка	20,6	24,6	45,2
В том числе			
Египет	40	55	95
Нигерия	16	30	46
Алжир	55	28	83
Марокко	46	35	81
Северная Америка	25,7	23,9	49,6
В том числе			
США	19	21	40
Южная Америка	38,1	33,1	71,2
В том числе			
Бразилия	40	36	76
Аргентина	52	25	77
Мексика	18	42	60
Океания	66,4	22,1	88,5
В том числе			
Австралия	70	20	90
Мир в целом	28,6	24,1	52,7

Staszewski I. Die Verbreitung der Bevölkerung nach dem Abstand vom Meer. Warszawa, 1961.

Таблица 3

Площадь, численность и плотность населения в зонах, расположенных на различном расстоянии

Регионы	Площади [млн км ²], отстоящие от моря на расстоянии [км]				Население [млн чел.], живущее от моря на расстоянии [км]			
	0—50	50— 200	св. 200	Вся терри- тория	0—50	50—200	св. 200	Общая численность
СССР	1,9	4,0	16,5	22,4	21,6	18,9	229,5	270,0
Зарубежная Европа	1,6	1,5	1,8	4,9	151,1	168,5	168,6	488,2
Зарубежная Азия	3,6	4,2	19,9	27,7	822,3	610,1	1224,5	2656,9
Африка	1,6	4,2	24,5	30,3	102,5	122,6	273,3	498,4
Северная Америка	4,1	4,4	15,8	24,3	98,3	91,1	192,4	381,8
Южная Америка	1,4	3,4	13,0	17,8	94,7	82,3	71,4	248,4
Австралия и Океания	1,6	2,4	4,5	8,5	15,6	5,2	2,7	23,5
Мир в целом	15,8	24,1	96,0	135,9	1306,1	1098,7	2126,4	4567,2

лами этих полос), занимающие около 71 % обитаемой суши, сосредоточивают лишь около 47 % мирового населения; плотность здесь в 2,9 раза ниже, чем в прибрежной и вдвое ниже, чем в приморской полосе.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ

По отдельным регионам прослеживаются большие различия в распределении населения между приморскими и внутренними областями. В СССР, например, плотность населения во внутренних районах даже выше, чем в прибрежных. В зарубежной Европе колебания плотности, как и в СССР, невелики, а в приморской полосе плотность несколько ниже, чем в остальных областях. Не очень велики контрасты в расселении и в Северной Америке в целом. Совсем другой характер имеет расселение в четырех других регионах, где внутренние области по большей части заняты пустынями, либо переувлажненными тропическими джунглями, либо высокогорьями, и подавляющая часть населения сконцентрирована в прибрежной и приморской полосе. Например, в зарубежной Азии плотность населения в прибрежной полосе выше, чем во внутренних районах в 3,7 раза, в Африке — в 5,8, в Южной Америке — в 13,6 и в Австралии и Океании — в 16,7 раза.

Можно говорить об определенных за-

кономерностях притяжения населения к акваториям Мирового океана, которые различны в разных регионах мира.

Об исторически обусловленном, преимущественно «внутриконтинентальном», типе развития нашей страны уже было сказано выше. Хотя в настоящее время морские границы составляют около 2/3 всей пограничной линии СССР, значительная их часть падает на арктические и субарктические побережья, заселенные очень слабо. «Массивность» территории — еще одна причина того, что СССР имеет сравнительно малую долю населения, живущего вблизи побережий. Для стран зарубежной Европы характерна высокая изрезанность береговой линии, обилие островов и полуостровов. Это — существенная предпосылка для того, чтобы значительная часть населения оказалась живущей неподалеку от моря. С другой стороны, многовековое интенсивное развитие, длительное использование земельных ресурсов, лесов, минеральных богатств, гидроэнергоресурсов и т. п. привело к большому развитию и внутренних районов; характерно, что и столицы европейских государств лежат во внутренних районах этих стран (иногда, ввиду сильной изрезанности береговой линии, во «втором» поясе — в 50—200 км от берегов моря). Зарубежная Европа выделяется среди других крупных регионов относительно малой средней высотой территории, что также благоприят-

от моря [по данным на середину 1982 г.]

Плотность населения (чел. на 1 км ²) в различных зонах [км]			
0—50	50—200	св. 200	В среднем по региону
11	5	14	12
94	112	94	99
228	145	62	96
64	29	11	16
24	21	12	16
68	24	5	14
10	2	0,6	3
66	46	23	34

ствует хозяйственному использованию внутренних областей. Правда, в последние десятилетия новые факторы притяжения хозяйства к побережьям или эстуариям крупных рек несколько повысили долю прибрежного населения (хотя нигде не привели к переносу столиц на побережье или к угасанию внутренних центров).

«Молодые» страны развитого капитализма (США, Канада, Австралия и др.) заселялись и осваивались «с моря», и поэтому неудивительно, что их главные центры оказались расположенными на побережьях или в эстуариях больших рек. В США по мере колонизации внутренних районов средний центр заселенности ряд десятилетий последовательно перемещался на запад (этому способствовало и быстрое развитие Тихоокеанского побережья); но в последнее время наблюдается оттягивание населения из «сердцевинных» штатов на восточное, южное и особенно на западное побережье. В Канаде сосредоточению населения в эстуарии и в долине р. Св. Лаврентия противостоит только быстрое развитие Степных провинций, особенно Альберты, куда население теперь уже привлекает не столько распашка земель, сколько открытие различных минеральных ресурсов (нефти, некоторых руд цветных металлов).

В развивающихся странах в период их колониальной зависимости сосредото-

ние населения в прибрежных полосах обуславливалось относительно быстрым развитием здесь городов и плантационного хозяйства. По мере развития в этих странах товарно-денежных отношений прибрежные районы становились плацдармом экспортно-импортных операций (причем в них и по стоимости, и по весу решительно преобладал экспорт, «выкачка» из колонии сырья — сперва преимущественно плантационного происхождения, а позже все в большей доле и минерального). Это стягивало сюда население, в том числе и для обслуживания колонизаторов. После завоевания развивающимися странами политической независимости влияние факторов экономического характера сохраняется и даже возрастает, поскольку связи с мировым рынком становятся обширнее и разнообразнее. На побережьях (обычно ранее, чем в глубинных районах) все более заметное место приобретает промышленность — в портовых городах проще найти квалифицированные кадры, здесь легче обеспечить техническую помощь со стороны развитых стран. Гораздо большее значение приобретают и внеэкономические факторы. В прибрежных столицах (а для развивающихся стран, имеющих выход к морю, весьма характерно расположение столиц на побережье) и в находящихся неподалеку от моря значительных городах складываются своего рода центры культурного развития, межэтнической интеграции и формирования новых наций.

Несколько тормозит притяжение населения в развивающихся странах к прибрежным районам сознательно предпринимаемые правительствами этих стран усилия для экономического подъема внутренних районов, освоения их ресурсного потенциала. Внешним выражением этого стремления является перенос столиц вглубь территории (в Турции, Бразилии, Пакистане; аналогичные проекты разрабатываются примерно в десяти африканских странах). Однако, поскольку освоение внутренних районов будет в известной мере стимулировать экспортную специализацию, оно будет автоматически повышать и роль городов, лежащих на побережьях Мирового океана.

МИРОВОЙ ОКЕАН И УРБАНИЗАЦИЯ

В наше время урбанизация развивается быстрыми темпами, в подавляющем большинстве стран мира воз-

растающая доля населения сосредоточивается в городах.

О важности прибрежного положения для роста городов красноречиво свидетельствует тот факт, что основная масса «городов-мультимиллионеров» (население которых превышает 5 млн чел.) расположена на побережье или в непосредственной близости от него. Таковы Нью-Йорк (16,5 млн), Токио и Шанхай (по 12 млн), Лос-Анджелес (10,5 млн), Буэнос-Айрес и Калькутта (по 9 млн), Бомбей и

Тяньцзинь (по 8 млн), Лондон (7 млн), Джакарта (6,5 млн), Филадельфия и Манила (почти по 6 млн), Бангкок и Рио-де-Жанейро (по 5 млн). Ближе к 5-миллионному рубежу подходит Ленинград. Ряд «мультимиллионеров» лежит не у самого моря, но недалеко от него и с ним хорошо связан: Сан-Паулу, Каир, Пекин, Сеул. Из 23 городов-мультимиллионеров вне принятой нами приморской зоны расположено лишь пять (Мехико, Париж, Москва, Чикаго, Дели).



Распределение крупных городов мира (свыше 1 млн жителей) по отношению к морям. Большими кружками обозначены города, в которых живет более 5 млн жителей; маленькими — от 1 до 5 млн жителей.

Города, удаленные от моря:

-  менее чем на 50 км
-  на 50 — 200 км
-  более чем на 200 км

Активизация человеческой деятельности вблизи от моря, влекущая за собой и притяжение населения, хорошо иллюстрируется и тем фактом, что в прибрежной и приморской полосах сосредоточена также весьма значительная часть больших городов (к ним принято относить города, население которых превышает 100 тыс. человек). В таблице 4 показана доля населения больших городов, расположенных в прибрежной и приморской

Таблица 4

Доля населения больших городов, расположенных в прибрежной и приморской полосах, в населении всех больших городов (%)

Части света и регионы	Расстояние от моря (км)		
	0—50	50—200	0—200
СССР	13,0	10,0	23,0
Зарубежная Европа	35,1	18,8	53,9
Зарубежная Азия	50,5	14,1	64,6
Африка	33,9	24,2	58,1
Северная Америка	39,8	6,9	46,7
Южная Америка	36,5	20,8	57,3
Австралия и Океания	97,8	2,2	100,0
Весь мир	40,0	14,7	54,7

полосах, в общем числе жителей городов такой величины. В наше время население стало гораздо больше ценить морские побережья и в качестве мест отдыха и оздоровления. В результате происходит быстрое развитие многих приморских городов-курортов. Все большее распространение получает и морской туризм.

В таблице 4 особенно выразительна первая колонка. 2/5 населения больших городов мира сосредоточена в зоне, которая занимает лишь 1/8 суши! Показательно, что в Азии — самой «массивной» части света — более половины обитателей больших городов живет в полосе, расположенной от моря не далее 50 км. Да и в нашей стране доля жителей прибрежных и приморских городов в общем населении значительно выше, чем доля всех жителей соответствующих зон в общем населении страны. Для страны с таким типично внутриконтинентальным типом хозяйственного и культурного развития, как СССР, такое соотношение весьма красноречиво.

*

Мировой океан занимает 71 % поверхности нашей планеты; он таит в себе важные резервы для дальнейшего развития человечества. Это — и прямые ресурсы самого океана и его дна, и все более увеличивающееся в ходе взаимовыгодного сотрудничества народов использование транспортных свойств океанической среды.

Возрастание роли океана в жизни

людей получает свое внешнее отражение в тенденции перераспределения населения: растет доля жителей побережий и полосы, косвенно (через хозяйство и бытовые условия) связанной с морем. Это — знаменательная для XX в. тенденция, хотя она по-разному проявляется в различных регионах (различия обусловлены как природными, так и конкретными социально-историческими ситуациями, складывающимися в разных уголках мира).

Но независимо от того, как реализуется возрастающее притяжение населения к морю, значение океанических пространств возрастает повсеместно. Соответственно этому и сознание обитателей Земли все более проникается «океаническим мышлением». Оно не может не охватить умы даже тех, кто живет вдали от морей. В этом — ощущение единства всей нашей Земли, ее водных пространств и суши. А вместе с тем — ощущение единства всего человечества при всей неповторимой индивидуальности слагающих его народов.

Гейзеры



Г. С. Штейнберг, А. С. Штейнберг, А. Г. Мержанов

Природу часто делят на живую и неживую. При таком подходе гейзеры попадают во вторую половину, но тем, кто их видел, с этим согласиться трудно. Гейзер — это непрерывное движение и изменение. Не случайно в английском языке применительно к ним используются термины «behaviour» — поведение, «play» — игра. Гейзер чутко реагирует на внешние раздражители. Дождь, ветер, атмосферное давление, температура воздуха, уровень грунтовых вод, сейсмичность — все сказывается на режиме гейзера. Применительно к реакции гейзера на такие изменения хочется сказать «приспосабливается», словно о живом существе, тем более что гейзеры появляются, развиваются, достигают зрелости, а затем угасают и прекращают свое существование, становясь горячими источниками, теплыми водоемами или просто системой пустых каналов, камер и зияющих грифонов, заваленных обломками гейзерита и измененных пород.

Что же такое гейзер? Как он устроен и чем отличается от обычных источников, которых так много? Если исходить только из внешних, очевидных, признаков, можно сразу сказать, что гейзеры отличаются от прочих теплых и горячих источников периодичностью действия. Основная характеристика любого термального источника — температура, гейзер же характеризуется продолжительностью цикла, т. е. промежутком времени между извержениями. Полный гейзерный цикл состоит из четырех стадий: заполнения, излива, извержения и паровой стадии. Период — индивидуальная характеристика, и его продолжительность составляет у разных гейзеров от нескольких минут до многих часов. То же можно сказать и о продолжительности отдельных стадий, за исключением стадии извержения, которая у подавляющего большинства гейзеров длится всего несколько минут.

Впрочем, эти и многие другие све-

дения о гейзерах можно почерпнуть из статей, посвященных этому природному феномену, и даже учебников. Но чего не было до недавнего времени — это строгого решения задачи о физическом механизме гейзера и причинах периодичности его действия.

Почти все геологические задачи являются обратными: даны результаты процесса и требуется их расшифровать и определить физику и химию процесса, его динамику, начальные и граничные условия и т. д. Но, как известно, решения обратных задач многозначны даже при корректной их постановке, чего исходные геологические данные обычно не обеспечивают. Поэтому геологические задачи сложны в постановке и неоднозначны в решении. Однако задача о физическом механизме гейзера представляет собой редкое исключение: здесь мы имеем дело с результатами процесса, а главное — с самим процессом. Каждое извержение гейзера и любую его стадию можно рассматривать как многократно повторяемый и хорошо воспроизводимый естественный физический эксперимент. Если найти способ направленно изменять скорость развития процесса, то решение задачи существенно упростится. Кроме того, «рабочее тело» процесса — вода — изучено детально и всесторонне. Все это вместе взятое благоприятствовало решению авторов статьи разобраться в природе гейзерного процесса.

ИЗ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ГЕЙЗЕРОВ

Люди заметили гейзеры относительно недавно. Если сравнить в этом плане гейзеры с вулканами (ведь почти все гейзеры находятся в районах активного вулканизма), то окажется, что первые упоминания о вулканах и их извержениях относятся еще к X—XVIII вв. до н. э. (Библия), гейзеры же впервые упоминаются только в XIII в. н. э. (скандинавские хроники). Пер-



Генрих Семенович Штейнберг, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геотермии Института морской геологии и геофизики ДВНЦ АН СССР, член редколлегии международного журнала "Modern Geology". Область научных интересов — вулканология и геотермия.



Александр Семенович Штейнберг, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физического стимулирования процессов горения Института химической физики АН СССР. Специализируется на изучении процессов тепломассопереноса в системах с химическими и фазовыми превращениями.



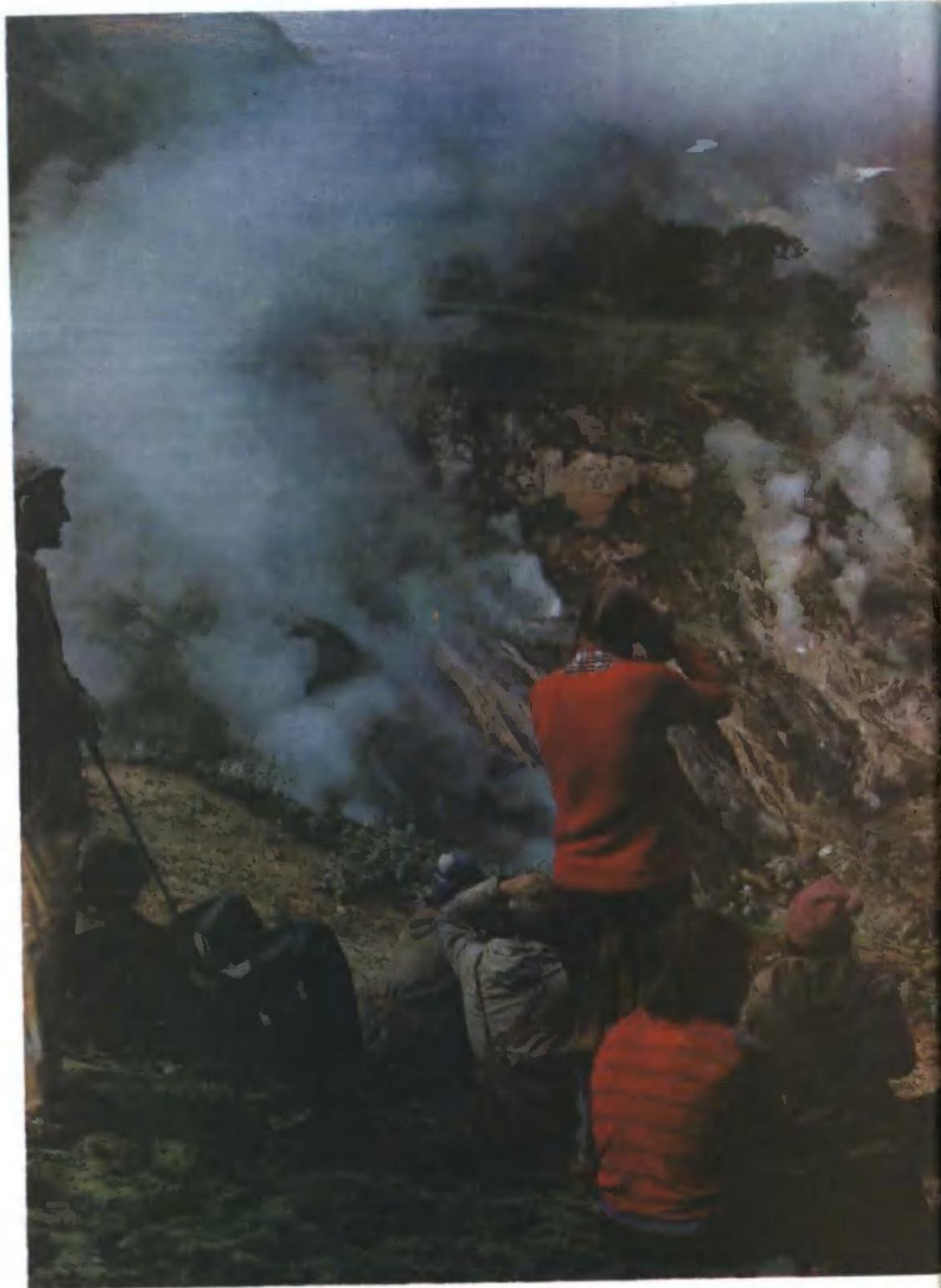
Александр Григорьевич Мерджанов, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий сектором макрокинематики и газодинамики того же института, председатель Научного совета по проблемам самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, редактор международного журнала "Archivum Combustionis". Область научных интересов — химическая физика.

вое описание извержения вулкана — это был Везувий — сделано Плинием Младшим в 79 г. Режим знаменитого исландского Гейзера, по имени которого все подобные источники и называются гейзерами, описан фон Тойлем в 1772 г.

Первые соображения о причинах извержения исландских гейзеров высказал в 1811 г. шотландский путешественник Г. Маккензи, полагавший, что они вызваны прорывом к поверхности больших объемов пара, который накапливается в подземных камерах. Позже, в 1846 г., известный немецкий физик Р. Бунзен качественно объяснил извержения Гейзера вскипанием подземных вод, так как их температура, по его представлениям, непре-

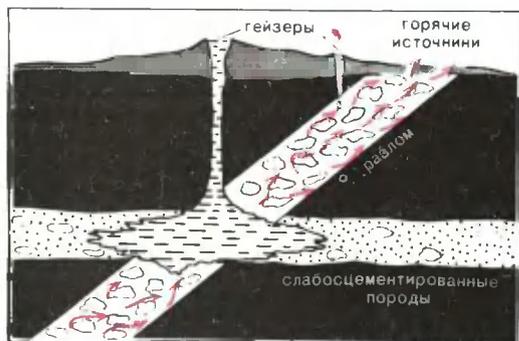
рывно возрастала с глубиной. Однако он не сумел объяснить периодичности действия этого гейзера и того факта, что температура после извержения опускалась существенно ниже 100 °С.

В 1880 г. соотечественник Бунзена Х. Ланг дополнил его модель действием внешнего источника холодной грунтовой воды, поступающей в гейзер после начала извержения. Согласно Лангу, в тот момент, когда вода выбрасывается из гейзера, гидростатическое давление в канале падает и увеличивается приток холодной воды; он-то и прекращает извержение. После заполнения канала приток холодной воды уменьшается, начинается прогрев, и цикл повторяется. Вывод Ланга, ввиду его на-



Панорама центральной части Долины гейзеров. В центре — главная термальная стенка с гейзерами Фонтан, Двойной, Непостоянный, Щель.

глядности и простоты, был поддержан многими исследователями, тем более что поступление в гейзеры холодной грунтовой воды в ряде случаев было подтверждено прямыми измерениями. В монографии, написанной уже в нашем веке и посвященной Йеллоустонским гейзерам (США), Е. Аллен и А. Дэй отметили, что «приток холодной воды совершенно необходим для объяснения периодичности действия гейзеров»¹. Сходных взглядов придерживалась и первооткрывательница камчатской Долины гейзеров Т. И. Устинова, полагавшая, что периодичность извержений объясняется «...наличием более прохладной воды, имеющей доступ в канал гейзера и прерывающей кипение в нем глубинной воды»². С. И. Набоко, изучавшая гейзеры Камчатки, писала: «Периодичность извержений осуществляется только при наличии



Схематическое изображение гейзера. В месте пересечения разлома, по которому поднимаются горячие воды, и слоя слабосцементированных пород возникает подземная камера. Ее образование — не причина, а результат деятельности гейзера: большие динамические нагрузки, периодически возникающие в канале при извержении, разрушают слабосцементированные породы. У небольших гейзеров камеры может и не быть.

притока в гейзерные системы менее нагретых вод»³.

Но с началом разведочных работ на месторождениях термальных вод было замечено, что гейзерный режим (т. е. периодическое объемное вскипание с выбросом пароводяной смеси) иногда возникает и в

тех обсаженных трубами скважинах, в которые не поступала холодная вода из верхних горизонтов. В результате возродились представления о том, что для периодичности действия гейзеров нет необходимости в смешении горячей и холодной воды. Этот, на первый взгляд, логичный вывод не столь бесспорен, как кажется, и к нему мы еще вернемся.

В то время когда мы только начинали свои работы по изучению гейзерного процесса, появилась обобщающая статья Д. Уайта, в которой он с сожалением отмечал, что «ни одна из общих теорий не объясняет того, как гейзеры функционируют, как начинается извержение или как заканчивается, как поступает энергия, почему гейзеры так сильно отличаются друг от друга»⁴. В основе это заключение было справедливым, хотя слово «теория», пожалуй, неточно, поскольку под ним понимались многочисленные предположения о природе гейзерного процесса. Физически же строгой теории, вскрывающей механизм извержений и показывающей, какие именно параметры определяют гейзерный процесс и при каком их соотношении он реализуется, в ту пору не было.

ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Существуют разные подходы к изучению природных процессов. Наиболее традиционный: наблюдение — анализ — построение теории. Однако для исследования гейзеров этот подход малоэффективен, так как процесс развивается на глубине, а на поверхности мы видим только некоторые его следствия. Поэтому наши исследования были построены по схеме: наблюдение — приближенная теория (математическая модель) — лабораторное моделирование — уточнение теории — полевые (натурные) эксперименты на гейзерах — теория процесса. По существу мы начали с теории и моделирования, так как прямых наблюдений за гейзерами было много, а задача о физическом механизме гейзера оставалась нерешенной. Общие предположения типа: «гейзер извергается в результате вскипания» или же «он извергается вследствие несоответствия между возможностями питания гейзера и несоизмерно большим диаметром выводящего канала» нельзя признать решением.

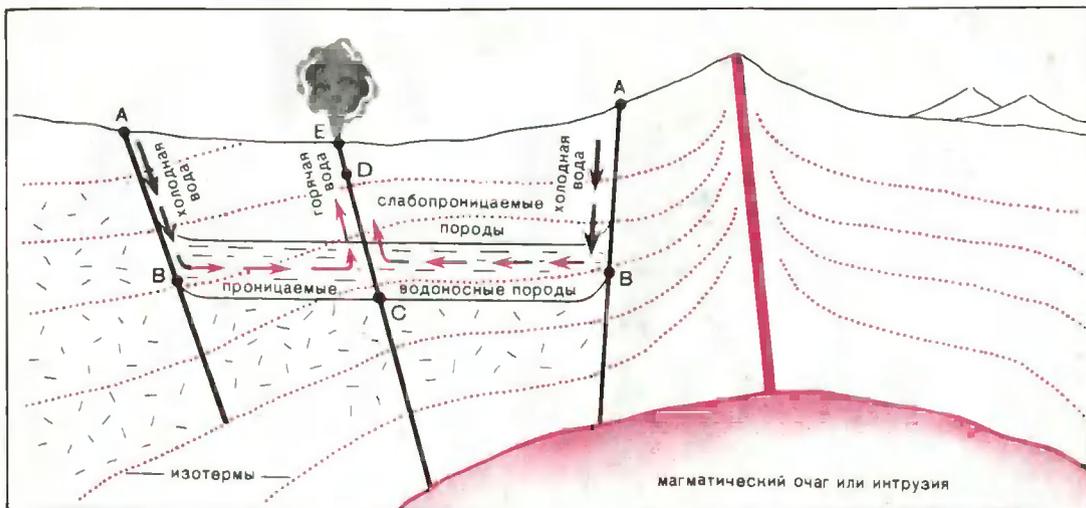
Разработанная нами математическая

¹ Allen E., Day A. Geysers and Hot Springs. Yellowstone National Park, 1935, v. 2, p. 2116.

² Устинова Т. И. Камчатские гейзеры. М., 1955, с. 103.

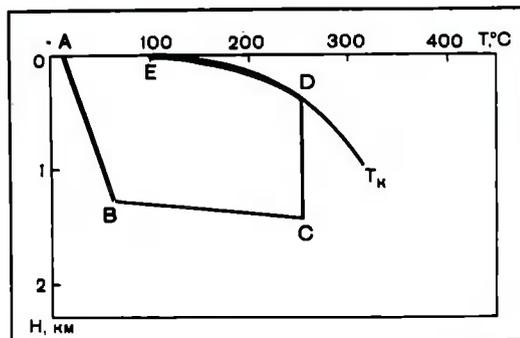
³ Набоко С. И. Гейзеры Камчатки. — В сб.: Тр. Лабор. вулканол. АН СССР, 1954, вып. 8, с. 206.

⁴ White D., — Amer. J. Sci., 1967, v. 265, p. 641.



Картина образования и циркуляции термальных вод. По разломам и трещинным зонам (AB) холодные поверхности воды опускаются на глубину, где нагреваются кондуктивным тепловым потоком от залегающих на небольшой глубине (3—6 км) вулканических очагов или остывающих интрузий и локализуются в проницаемых водоносных горизонтах (BCB). По другим разломам горячая вода поднимается к поверхности, на которую она выходит в виде теплых и горячих источников и гейзеров. Характерно, что, двигаясь к поверхности (участок CD), горячие воды не охлаждаются, поскольку окружающие породы прогревались теми же водами на протяжении многих тысяч лет.

На графике внизу показано изменение температуры воды на всем пути ее движения (ABCDE). В верхней части системы (DE) изменение температуры ограничено кривой кипения; в зависимости от условий теплового баланса на этом участке и на выходе (E) образуются горячие источники или гейзеры.



модель гейзерного процесса⁵, несмотря на определенную схематизацию строения гейзера, позволила достаточно строго определить параметры, контролирующие гейзерный процесс и положение гейзеров среди других геотермальных проявлений. Не приводя уравнений тепломассопереноса, ограничимся основными положениями, принятыми при выводе теории. Упрощенно они сводятся к следующему: гейзер состоит из подземной камеры и канала, соединяющего ее с поверхностью земли; извержение происходит вследствие вскипания воды в этой камере и носит характер взрыва, т. е. происходит в результате бы-

строго объемного выделения энергии. Источником взрыва является энергия перегрева воды (аккумулированное тепло). Вода в камере нагревается за счет притока воды из глубоких горизонтов; наряду с горячей в гейзер может поступать и холодная вода (вариант с поступлением только горячей воды представляет собой частный случай). Закономерности для бескамерного гейзера также могут быть выведены в рамках нашей теории, если учесть конвекцию в его канале. Исходя из того что существование камер доказано для ряда гейзеров, мы полагаем модель с камерой общим случаем, а бескамерную — частным.

Расчеты, выполненные нами на основании теоретической модели гейзерного процесса, показали, что поведение природного гейзера контролируется энтальпией

⁵ Мерджанов А. Г., Штейнберг А. С., Штейнберг Г. С.— Доклады АН СССР, 1970, т. 194, № 2, с. 318.



Извержение гейзеров Фонтан и Новый Фонтан.

теплоносителя (I); критической энергией, или энергией извержения ($Q_{кр}$); расходом в стадии заполнения (G_0) и в стадии излива (G); массой излитой воды ($M_{изл}$), массой воды и пара, выбрасываемой при извержении (M_0); массой воды в гейзере, охваченной свободной конвекцией (M); теплотерями в стадии излива (Q_s). Определив все эти параметры, можно уверенно прогнозировать период гейзера, а также найти, при каком их изменении гейзер превратится в горячий ключ, кипящий источник или паровую струю (фумаролу). Математическое моделирование показало, что гейзерный режим возможен только в очень узком интервале перечисленных параметров, — именно этим и объясняется редкость гейзеров.

Создание физической модели природного объекта является весьма эффективным методом исследования, так как упрощает объект и одновременно выделяет наиболее существенные его стороны. Наряду с этим лабораторное моделирование позволяет ускорять или замедлять процесс, а также отдельные важные его стадии. Следует отметить, что модели гейзеров создавались как до нас, так и после (Р. Бунзен, 1846; Н. Видеман, 1882; Дж. Грахем, 1893; Н. Андерсон и др., 1978). Однако они лишь иллюстрировали гейзерный процесс, поскольку небольшая высота этих моделей не позволяла получить перепад температур кипения, достаточный для надежных количественных измерений. Принципиальное методическое отличие наших моделей заключается в том, что эксперименты на них проводились при пониженном давлении, позволившем получить перегревы до 20° . А это более чем на порядок превышает перегревы в обычных, невакуумных моделях и близко к перегре-



Гейзер Сахарная голова в момент извержения. Хорошо видна самая верхняя часть гейзера — его грифон, сложенный гейзеритом.

вам в природных гейзерах⁶. Например, создав над поверхностью воды давление 0,05 атм, мы снижаем температуру кипения до 32 °С и при высоте модели 50 см обеспечиваем перегрев в 13°, что соответствует перегреву в гейзере, вода в котором вскипает на глубине 6 м. В некоторых моделях в качестве рабочей жидкости мы использовали фреон, имеющий низкую температуру кипения (48 °С при давлении 1 атм), большую, чем у воды, плотность и меньшую теплоту парообразования; его применение дало еще более высокие пере-

гревы. В результате мы получили контрастную тепловую модель и обеспечили измерение температуры на различных ее уровнях с точностью, сопоставимой с расчетными данными, полученными путем математического моделирования.

Лабораторные эксперименты на моделях показали, что после извержения температура воды близка к температуре кипения только вблизи поверхности, а на глубине она заметно ниже. Поступающая из глубоких горизонтов горячая вода интенсивно перемешивается с более холодной, оставшейся в грифоне гейзера после извержения. Благодаря этому температура воды в гейзере постепенно повышается, однако в течение стадии заполнения она остается ниже температуры кипения. По мере заполнения канала гидростатическое давление увеличивается, а расход воды уменьшается, достигая минимума к началу стадии излива. На этой стадии большая часть охлажденной воды изливается, вследствие чего темп роста температуры непре-

⁶ Мержанов А. Г., Штейнберг А. С., Штейнберг Г. С. Авторское свидетельство № 461700, 1974.

равно увеличивается. В определенный момент на некоторой глубине H вода достигает температуры кипения и в канале появляются пузырьки пара. Поднимаясь, они охлаждаются, отдают свое тепло воде и, конденсируясь, исчезают. Появление пара уменьшает гидростатическое давление, соответственно увеличивается расход воды, поступающей в гейзер, и интенсифицируется кипение. С началом кипения теплоперенос заметно ускоряется, так как пузырьки пара поднимаются гораздо быстрее воды, и температурная кривая (T_n) приближается к кривой кипения (T_k). Поднимающиеся к поверхности пузырьки пара уже не конденсируются, а увеличиваются в объеме и занимают большую часть сечения канала. Режим течения становится снарядным: крупные пузырьки пара или их скопления, действуя как поршень, выталкивают воду из верхней части канала, вследствие чего уровень воды и гидростатическое давление в системе скачкообразно понижаются. Резкое снижение давления приводит к тому, что вода оказывается перегретой выше температуры кипения, происходит объемное вскипание, т. е. начинается извержение гейзера.

Воссозданная в лаборатории картина подготовки извержения дает ответ на вопрос, необходимо ли смешение горячей воды с холодной или «менее нагретой» для периодичности действия гейзера. Для начала извержения необходимости в смешении нет. Но, чтобы извержение повторилось, оно прежде всего должно закончиться. А это возможно лишь при условии, что температура воды в недрах гейзера будет меньше температуры кипения. Для снижения температуры в гейзере внешний источник холодной воды вовсе не обязателен. Вода охлаждается в самом гейзере в результате вскипания: перед извержением ее температура достигает $120\text{--}170^\circ$, а в процессе извержения снижается до 100°C . Однако последующий постепенный нагрев, приводящий к извержению, происходит благодаря смешению оставшейся в гейзере воды, охлажденной в результате извержения (вскипания), с горячей водой, поступающей из области питания, т. е. смешение горячих и охлажденных вод является необходимым условием периодичности действия гейзера. Таким образом, в гейзере существует обратная связь: прекращение извержения обусловлено охлаждением воды в результате вскипания, а последующий постепенный нагрев происходит благодаря смешению горячей воды с водой, охлажденной в процессе извержения. Время

нагрева до температуры, необходимой для объемного вскипания (извержения) и является главной характеристикой гейзера — его периодом.

Итак, лабораторное моделирование существенно приблизило нас к пониманию механизма гейзерного процесса. Но это не все. Модельные эксперименты принесли еще один интереснейший результат: благодаря им было установлено, что перед извержением жидкость в некоторых гейзерах находится в метастабильном (перегретом) состоянии⁷. А как известно, вещества в таком состоянии весьма чувствительны к самым разным физическим воздействиям. Поэтому выявление метастабильного состояния воды в гейзерах перед их извержением позволяет по-новому подойти к объяснению корреляционных зависимостей между периодом гейзера и различными процессами в земной коре и атмосфере. Но это тема особого разговора. А пока подведем некоторые итоги.

Опыты на моделях и расчеты дали определенные представления о динамике гейзерного процесса, однако применительно к естественным гейзерам многое оставалось неясным. Что является необходимым условием для извержения природного гейзера? Каковы энтальпия теплоносителя, весовое соотношение воды и пара при извержении, температура и расход воды в стадии заполнения и излива? Какая масса воды участвует в гейзерном цикле и какая масса воды и пара извергается гейзером? Какова величина энергии, аккумулируемой в стадиях заполнения и излива и рассеиваемой в стадии извержения?

Ответы на все эти вопросы могли дать только прямые исследования на гейзерах. Однако применение обычных гидрогеологических методов (бурения, перекрытия выходов термальных источников на поверхность и т. д.) здесь недопустимо, поскольку они могут привести к необратимым изменениям в режиме гейзеров. Именно вследствие этих ограничений изучение гейзеров и у нас, и за рубежом носило пассивный характер и, по существу, сводилось к регистрации периода, температуры, продолжительности отдельных стадий и иногда расхода на стадии излива. Использование активных методов, ведущих к направленному и регулируемому изменению параметров процесса, существенно

⁷ Мержанов А. Г., Штейнберг А. С., Штейнберг Г. С. — *Геохимия*, 1974, № 2, с. 277.

расширяет возможности исследований. Но здесь имеется одно важное ограничение: эксперименты не должны нарушать режим гейзера или его строение. Нами были разработаны два экологически чистых активных метода: гидрозондирование и химическое зондирование. С их помощью велись все наши полевые исследования гейзеров.

НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ГЕЙЗЕРАХ

Идея метода гидрозондирования заключается в кратковременном изменении теплового баланса гейзера, что достигается вливанием в гейзер после извержения определенного количества воды (M_3) с заданной температурой (T_3). После чего мы имеем возможность измерить период гейзера, продолжительность отдельных его стадий, температуру и расход воды на изливе⁸.

На первый взгляд, идея заполнения водой частично опустошенного гейзера в расчете, что вода достигнет большой глубины, кажется сомнительной. Ведь канал гейзера имеет сложную форму, сифоны и далеко не всегда вертикален. Тем не менее затруднений с заполнением водой небольших гейзеров, с которыми мы имели дело, не возникло. Более того, при контакте с вливаемой водой пар, заполнявший пустующий объем гейзера, интенсивно конденсировался и вливаемая вода со свистом засасывалась в гейзер, как в вакуумированную полость.

Широкие возможности метода гидрозондирования определяются тем, что в зависимости от величины «теплового возмущения» меняется главная характеристика гейзера — его период. Изменяя зависимость периода гейзера от температуры и массы вливаемой воды, мы можем определить из простых уравнений теплового и массового баланса многие параметры, характеризующие внутреннее строение гейзерной системы и режим ее работы, в том числе и те, которые принципиально недоступны для прямого измерения.

Одна из основных задач метода гидрозондирования — определение энтальпии теплоносителя (теплосодержания вод, питающих гейзеры) и критического условия, т. е. условия, при котором начинается извержение. Критическое условие для каждого гейзера должно определяться с учетом его особенностей. Из теории следует, что

самым общим условием начала извержения является достижение температуры кипения. Однако моделирование показало, что это условие необходимо и достаточно только в том случае, если у гейзера имеется стадия излива и масса воды в камере много больше массы воды в канале. Если же эти массы сравнимы или камеры у гейзера нет, то следует учитывать конвективные потери тепла в канале и грифоне. В гейзере без излива необходимым условием начала извержения является кипение, которое вследствие метастабильного состояния воды часто начинается при температуре более высокой, чем температура кипения.

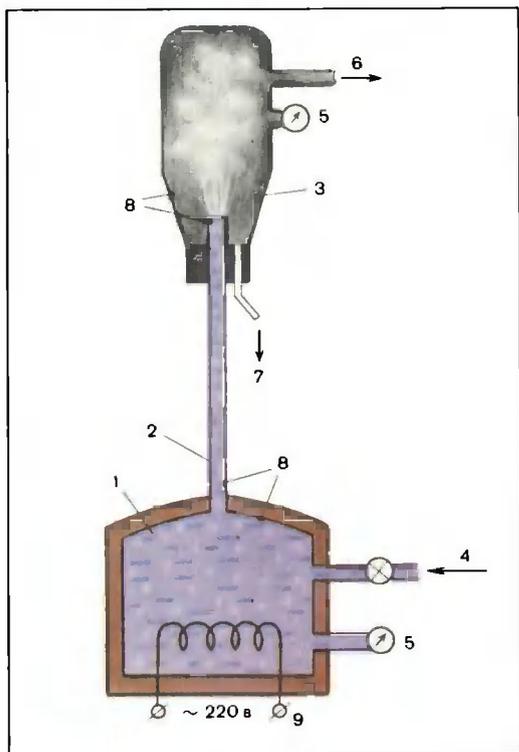
В общем случае критическое условие можно определить через величину тепловой энергии ($Q_{кр}$), аккумулируемой гейзером и рассеиваемой при извержении. Найти эту величину можно, если воспользоваться методом гидрозондирования. Для этого достаточно одновременно с расходом измерить температуру воды на изливе. Тепло, аккумулированное гейзером, равно произведению энтальпии теплоносителя на массу воды (M), поступившей в гейзер, за вычетом тепла, вынесенного из гейзера в стадию излива (Q_0). Иными словами, уравнение теплового баланса гейзера имеет простой вид:

$$Q_{кр} = Ml - Q_0,$$

где $Q_{кр}$ и l — неизвестные. Чтобы их найти, достаточно иметь систему из двух уравнений. Метод гидрозондирования позволяет получить любое их число.

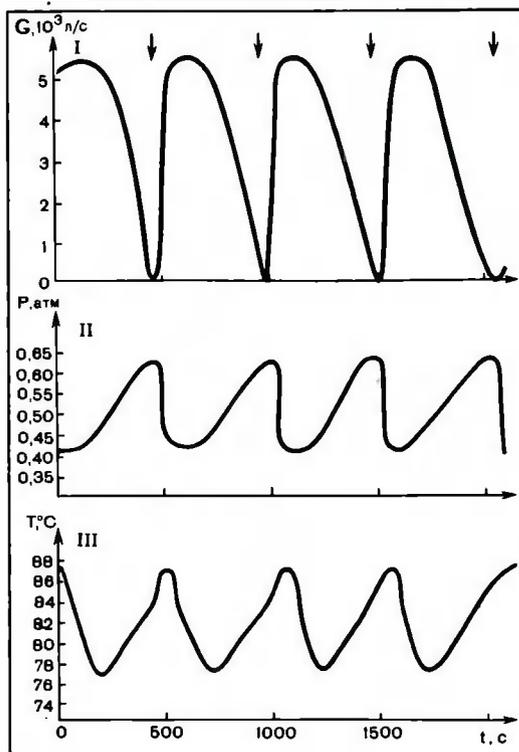
Использование метода гидрозондирования на небольших гейзерах позволило определить объем воды и пара, выбрасываемых в процессе извержения. Он равен объему воды, влитой в гейзер сразу после извержения, и заполнившей гейзер до уровня излива. Последовательное заполнение гейзера через разные интервалы времени после извержения позволило установить зависимость изменения объема воды в гейзере в стадии заполнения от времени, а уже отсюда рассчитать расход в стадии заполнения. Метод гидрозондирования показал, что некоторые гейзеры не имеют стадии излива не потому, что пьезометрический (статический) уровень у них располагается ниже дневной поверхности, как считали некоторые исследователи. Просто у таких гейзеров аккумуляция тепла $Q_{кр}$ происходит прежде, чем уровень воды успевает достигнуть поверхности. Например, у гейзера Щель, не имеющего в естественном режиме стадии излива, при гидрозон-

⁸ Steinberg G. S., Merzhanov A. G., Steinberg A. S. — J. Volcanol Geotherm. Res., 1978, v. 3, p. 99.



Лабораторная модель гейзера: 1 — гейзерная камера, 2 — канал гейзера, 3 — верхняя камера, имитирующая грифон гейзера, 4 — линия подвода воды, 5 — датчики давления, 6 — выход к вакуумному насосу, 7 — линия слива воды, 8 — термометры, 9 — нагреватель.

Диаграмма изменения параметров гейзерного процесса, полученная с помощью лабораторной модели гейзера [I — расход воды, поступающей в гейзер, II — давление в камере гейзера, III — температура в камере гейзера]. Стрелками отмечены моменты начала извержений. Перегрев нижней камеры относительно верхней в приведенном случае аналогичен перегреву в гейзере, вода в котором вскипает на глубине 4,5 м.



дировании излив продолжался около 10 мин, т. е. время аккумуляции тепла $Q_{кр}$ при изменении теплового баланса оказалось больше времени, необходимого для заполнения гейзера до уровня излива.

Таким образом, метод гидрозондирования позволил установить ряд зависимостей, характеризующих гейзерный процесс, и найти численные значения важнейших его параметров. Однако остались неопределенными масса воды в области свободной конвекции в гейзере, масса излитой воды, масса воды и пара, извергаемых гейзером, а также расходы в больших гейзерах в стадии заполнения. Определение этих параметров проводилось с помощью метода химического зондирования, разработанного И. П. Боровинской совместно с авторами⁹.

Суть этого метода заключается во введении в гейзер растворенного в воде реактива с последующим наблюдением за изменением его концентрации на различных стадиях гейзерного цикла. Вблизи зем-

⁹ Штейнберг Г. С., Боровинская И. Н., Мержанов А. Г., Штейнберг А. С.— Доклады АН СССР, 1981, т. 258, № 3, с. 727.

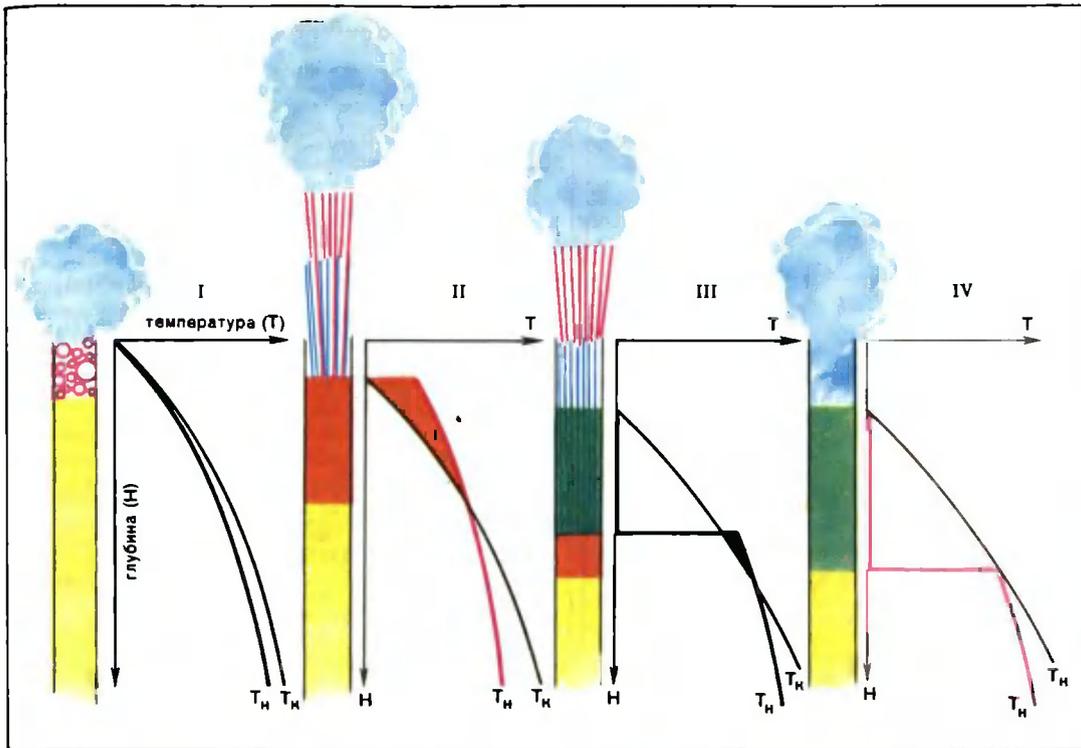


Схема развития извержения гейзера.

I — стадия подготовки. Вода в верхней части гейзера перегрета до температуры, близкой или равной температуре кипения $[T_n]$. Пузыри пара, поднимаясь, расширяются, занимают большую часть сечения канала и выталкивают воду из верхней его части.

II — стадия извержения. Вследствие резкого снижения уровня воды давление резко падает и вода оказывается перегретой $[T_n > T_n]$. Происходит объемное вскипание, т. е. начинается извержение.

III — паровая стадия. При извержении часть воды выбрасывается, давление уменьшается и фронт кипения смещается на глубину. Извержение продолжается, однако вода из гейзера уже не выбрасывается на поверхность. Идет напорное истечение пара.

IV — заключительная стадия. Поскольку вода из гейзера не извергается, давление в нем остается прежним и объемное кипение заканчивается. Вследствие этого прекращается напорное истечение пара и завершается весь цикл.

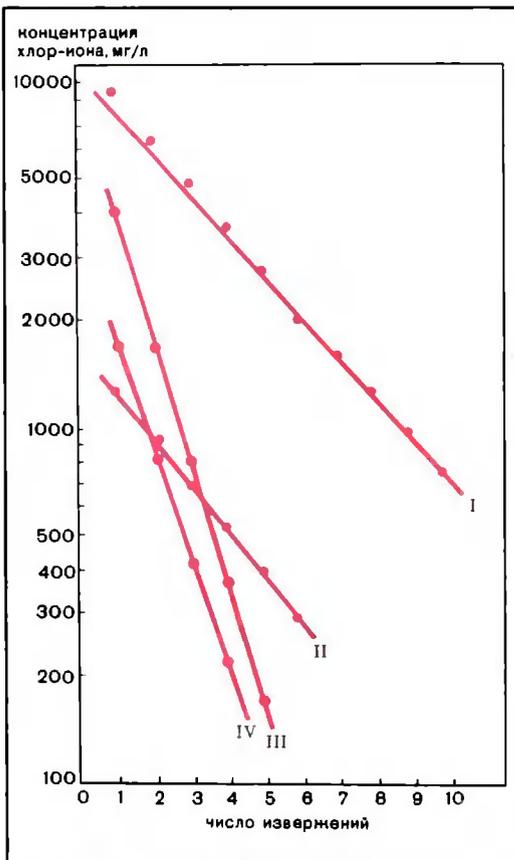
На схеме изменения температуры и уровня воды для наглядности показаны как ступенчатые, в действительности же они имеют более сглаженный характер. Однако основной факт, заключающийся в том, что в результате снижения давления кривая T_n пересекает кривую кипения и вода оказывается перегретой, строго соответствует результатам экспериментов.

- Вода, охлажденная при извержении
- Извергаемая вода
- Напорное истечение пара

- Перегретая вода $[T_n > T_n]$
- Вода с температурой ниже точки кипения $[T_n < T_n]$

ной поверхности каналы гейзеров достаточно широки и нередко образуют камеры. Здесь — область свободной конвекции. Но на больших глубинах вода идет по очень узким трещинам и свободная конвекция почти отсутствует. На этом и основан метод химического зондирования: реактив, введенный в гейзер, локализуется в области, охваченной свободной конвекцией. Дальнейшее его распространение в более глубокие части гейзера определяется уже диффузией, влиянием которой в масштабах времени эксперимента (минуты, часы) можно пренебречь.

Хотя химическое зондирование применимо к любым гейзерам, для простоты рассмотрим гейзер без стадии излива. Если после извержения в гейзер был введен реактив с массой m_0 и он равномерно распределялся в области свободной конвекции



Изменение концентрации хлор-иона от извержения к извержению на гейзерах без стадии излива. Экспериментальные значения точно соответствуют теоретически выведенной линейно-логарифмической зависимости. Гейзеры: I — Прилежный, II — Конус, III — Щель, IV — Фонтан.

с массой воды M , то к моменту извержения концентрация реактива составит:

$$C_0 = m_0 / M,$$

откуда $M = m_0 / C_0$.

После извержения в гейзере останется масса воды $(M - M_0)$, где M_0 — масса воды и пара, выбрасываемая при извержении гейзера, а концентрация реактива сохранится прежней. По мере поступления воды и заполнения объема, освободившегося в результате извержения, концентрация реактива будет уменьшаться. Основное соотношение, описывающее изменение

концентрации реактива, от извержения к извержению имеет вид:

$$C_n = \frac{m_0}{M - M_0} \left(\frac{M - M_0}{M} \right)^n,$$

где n — порядковый номер извержения.

Химическое зондирование, проведенное на многих гейзерах, и установленные экспериментальные зависимости с высокой точностью соответствуют теоретическим выводам, что указывает на правильность предположений, лежащих в основе метода, и справедливость сделанных допущений. Следует отметить, что величина M для гейзеров никогда раньше не измерялась, а масса извергаемой воды определялась путем ее сбора, т. е. неточно.

Метод химического зондирования позволил определить расход на стадии заполнения для крупных гейзеров, что тоже никогда раньше не делалось. Сложность заключается в том, что каналы и грифоны гейзеров имеют неправильную форму, и поэтому определить объем воды, поступившей в гейзер, по изменению уровня воды в нем невозможно. Для малых гейзеров скорость заполнения объема, свободного после извержения, можно найти, используя метод гидрозондирования. Но в больших гейзерах, где свободный объем составляет десятки кубических метров, выполнить это практически невозможно. И здесь нам помогает химическое зондирование. Оно позволяет определить изменение массы воды в области свободной конвекции в течение стадии заполнения по следующей формуле:

$$M(t) = \frac{m_0}{C(t)},$$

где $C(t)$ — текущая концентрация.

Дифференцируя эту зависимость, находим расход. Сходным образом по изменению концентрации реактива определяется расход воды в стадии излива и масса воды, изливаемая гейзером.

Метод химического зондирования позволил определить массу изливаемой воды, массу воды и массу пара, извергаемых гейзером, установить закономерности изменения расхода на всех стадиях процесса и, кроме того, найти массу воды, циркулирующей в области развитой свободной конвекции гейзерной системы, — параметр для гейзеров принципиально новый.

В заключение отметим, что хотя экологическая корректность использованных нами методов была заложена изначально, — в гейзеры вливались небольшие количества

Основные параметры гейзеров

Гейзер	Масса воды в обл. свободной конвекции, кг	Масса извергнутой воды, кг	Масса извергнутого пара, кг	Масса излитой воды, кг	Энергия извержения, ккал	Энтальпия теплоносителя, ккал/кг
Принц Буратино	600	~135	35	—	$4 \cdot 10^4$	187 ± 7
Щель	2400	1050	200	—	$2,4 \cdot 10^5$	190 ± 13
Великан	$3 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^6$	176 ± 8

воды, взятой из самих же гейзеров или из реки Гейзерной, а в качестве реактива использовались соединения, содержащиеся в воде гейзеров (NaCl), — тем не менее мы с особым вниманием следили за тем, насколько быстро гейзеры возвращаются к нормальному режиму. Во всех опытах с применением метода гидрозондирования собственный период гейзеров восстанавливался не позднее чем через одно извержение, после того как было проведено зондирование. В опытах, где использовался метод химического зондирования, концентрации Na^+ и Cl^- приходили в норму на крупных гейзерах через 1—2 извержения, на средних — через 4—5, а на небольших — через 6—10 извержений, т. е. через несколько часов.

КАК ОБРАЗУЮТСЯ ГЕЙЗЕРЫ И ПОЧЕМУ ОНИ РАБОТАЮТ?

Зная основные параметры гейзеров и представляя последовательность и характер протекающих в них процессов, можно определить, сочетание каких тепловых и гидродинамических процессов приводит к возникновению феномена гейзера.

Само по себе существование рядом, в пределах Долины гейзеров или Йеллоустонского парка, всего набора геотермальных проявлений — от паровых струй, горячих, кипящих и пульсирующих источников до гейзеров — вызывает естественный вопрос: почему, имея общий источник питания (это доказано химическими и изотопными анализами) и находясь в одинаковых геологических условиях, они так различно проявляют себя на поверхности? Существующее ранее предположение, что это обусловлено заметно меньшим расходом в гейзерах по сравнению с постоянными источниками, не подтвердилось. И среди гейзеров наблюдается самый широкий диапазон расхода: от 5—7 (гейзер Прилежный) до 600—1260 л/мин (гейзер Соумил). Проведенные нами исследования показали, что принципиальное отличие гейзеров от

горячих источников состоит в том, что в гейзерах нет стационарного баланса между теплоподводом и теплоотводом. В горячих источниках и паровых струях такой баланс всегда существует. В гейзерах же на всех стадиях процесса, за исключением извержения, теплоподвод больше теплоотвода и тепловой баланс поддерживается за счет нагрева воды в гейзере. А поскольку тепловая емкость гейзера ограничена, то после ее заполнения при дальнейшем подводе тепла баланс нарушается и система становится энергетически неустойчивой. Вследствие этого процесс теплоотвода качественно изменяется — происходит объемное вскипание, т. е. извержение гейзера.

Но почему в горячих источниках существует стационарный тепловой баланс, а в гейзерах его нет?

Модельные и натурные эксперименты показали, что в длительно существующих геотермальных источниках процессы теплообмена зависят, главным образом, от конвекции — свободной и вынужденной. Их соотношением и определяется характер геотермального проявления — горячий это источник или гейзер. Вынужденная конвекция зависит от поступления горячей воды в гейзер и излива охлажденной воды из него; она ведет к перегреву, кипению и извержению. Свободная конвекция выравнивает температуру и препятствует перегреву, без которого кипение, а следовательно, и извержение невозможно. Если преобладает вынужденная конвекция, образуются кипящие источники, в случае преобладания свободной конвекции — остывающие источники, а при их балансе — источники с постоянной температурой. В промежуточных вариантах, когда вынужденная конвекция сбалансирована свободной конвекцией и кипением, образуются периодически кипящие или пульсирующие источники. И только в том случае, когда на ранних стадиях процесса вынужденная конвекция сбалансирована свободной конвекцией и нагревом воды в системе, на более поздних стадиях — свободной кон-



Грязевой котел. Подобные образования нередко возникают на месте горячих источников и гейзеров.

векцией, нагревом и кипением, а на заключительных стадиях вынужденная конвекция оказывается несбалансированной — возникают гейзеры.

Почему же свободная конвекция, нагрев и кипение с какого-то момента перестают обеспечивать тепловой баланс — ведь кипение может сбалансировать практически любой теплоподвод? Дело в том, что кроме теплового баланса на развитие процесса решающее влияние оказывает гидродинамический режим движения двухфазной смеси пар — вода. Если подводящие каналы устроены так, что имеется возможность свободного выхода пара из системы, то парообразование сбалансирует теплоподвод. Но если пар занимает большую часть сечения канала, режим течения становится пульсирующим и в системе периодически скачкообразно понижается давление. При достаточном теплоподводе это ведет к объемному вскипанию и извержению.

Выяснив причины возникновения гейзерного режима, мы поняли, каким образом некоторые кипящие и горячие источники самопроизвольно превращаются в гейзеры. В первом случае для этого бывает достаточно незначительного расширения канала или образования на его выходе небольшого грифона. Оба этих фактора интенсифицируют свободную конвекцию, что ведет к смещению уровня начала вскипания на глубину, и источник, бывший до этого кипящим, начинает действовать как гейзер. Обратная процедура — сокращение объема и площади грифона — способствует превращению горячего источника в гейзер. При этом тепловые потери с поверхности уменьшаются, становится возможным кипение на глубине, и источник переходит в гейзерный режим. В обоих случаях изменяется соотношение между свободной и вынужденной конвекцией, т. е. структура теплового баланса.

При неизменном режиме теплоподвода гейзер может прекратить свою активность из-за увеличения объема или площади грифона. Другой причиной может стать уменьшение сечения канала вследствие отложения на стенках аморфного кремнезема, халцедона, цеолитов и других минералов.

Зная, почему возникают гейзеры, можно проследить, как они появляются. Известно немного случаев образования но-

вых гейзеров. Однако четко установлено, что возникают они «не сразу» — гейзеру всегда предшествует термальный источник, который, развиваясь, переходит в гейзерный режим. И связан такой переход с изменением геометрии канала или режима теплоотвода. Образование выходов горячих источников связано с процессами растворения и выщелачивания окружающих пород, а также с тектоническим режимом — новые трещины-каналы часто возникают вследствие землетрясений. При этом образованию гейзеров нередко предшествуют гидротермальные (паровые) взрывы, сопровождающиеся выбросом обломков пород. В результате гидротермальных взрывов могут расширяться уже существующие каналы и образовываться подземные камеры. Так, после сильного землетрясения в 1959 г. в Йеллоустонском парке произошла серия гидротермальных взрывов, которые привели к образованию кратеров с выходами паровых струй. На месте этих кратеров через некоторое время возникли горячие источники, перешедшие к 1963—1964 гг. в режим гейзеров.

★

Проведенные исследования позволили понять механизм гейзерного процесса, определить параметры, контролирующие его, и установить количественные соотношения между ними. На основе представлений о механизме процесса были созданы лабораторные модели — по образному выражению Я. К. Голованова «гейзеры на столе», — в которых использование вакуумного моделирования позволило воспроизвести и количественно исследовать основные режимы работы гейзеров. Но, пожалуй, наиболее существенным результатом явилось создание физически обоснованных и экологически чистых методов изучения гейзеров, с помощью которых были впервые определены массовые, тепловые, геометрические и динамические параметры таких непохожих друг на друга гейзеров Камчатки, как Великан, Жемчужный, Щель, Фонтан, Большой, Конус и ряда других. Наши исследования показали, что даже при благоприятном геологическом строении гейзерный режим возможен в очень ограниченном диапазоне энтальпии и расхода: при низких параметрах возникают теплые и горячие источники, при высоких — кипящие источники и напорные паровые струи, т. е. режимы стационарные. И только в узком интервале между ними оказывается возможным периодический режим — гейзерный. Поэтому гейзеры и встречаются так редко.



Хентаунская круглоголовка

Бондаренко Д. А.

Москва

Эта небольшая ящерица, названная хентаунской круглоголовкой (правильнее было бы хентавская или хентауская) — *Phrynoscephalus rossikowi*, впервые описана А. М. Никольским еще в 1899 г. по единственному экземпляру, найденному на останцовом низкогорье Хентау (дельта р. Амударьи). В последние годы ее удалось встретить очень немногим натуралистам, и до настоящего времени образ жизни круглоголовки мало изучен. Этот редкий эндемичный вид, внесенный в «Красную книгу СССР», встречается только в щебнистых пустынях нижнего и среднего течения Амударьи.

Местообитания круглоголовки известны в Туркмении — на востоке и северо-востоке Заунгузских Каракумов, где ее находили на узкой полосе щебня, протянувшейся вдоль левого берега Амударьи. Однако, судя по единому геологическому строению и общему характеру рельефа Заунгузских Каракумов, можно предположить, что хентаунская круглоголовка обитает и в других районах плато, где также есть обширные щебнистые пространства. Недавняя находка ящерицы в юго-западной части Заунгузских Каракумов у пос. Серный Завод подтверждает это предположение¹. На правой стороне Аму-



Хентаунская круглоголовка.

дарьи (северо-западные Кызылкумы) круглоголовок находили у подножия возвышенности Султануздаг, а также в 150 км от нее в небольшой ложине у колодца Букан. Попадались круглоголовки и на некоторых останцах в дельте Амударьи.

Таким образом, сейчас известно несколько изолированных местообитаний хентаунской круглоголовки. Причина географической изоляции, по всей видимости, вызвана блужданием Амударьи по Туранской равнине. Территория, на которой обитали ящерицы, оказалась по-

деленной рекой на отдельные островные плоскогорья. Значительную роль в изоляции местообитаний сыграл активный снос рыхлого материала — леса, песка; ветер и вода уносили их, оставляя лишь плотный суглинок, усеянный щебнем. Накопившиеся толщи песка, не заселенные хентаунской круглоголовкой, увеличили изоляцию отдельных популяций, которая оказалась настолько значительной, что это привело к образованию подвидов *Phrynoscephalus rossikovi rossikovi* и *Ph. g. shammakovi*.

Известные местообитания хентаунской круглоголовки — это участки с уплотненной суглинистой почвой, покрытые галькой и щебнем, с характерным пустынным «загаром» коричневого цвета. Растительный покров таких участков сильно раз-

¹ Щербак Н. Н., Голубев М. Л. — Вестник зоологии, 1979, № 6, с. 65.

режен и состоит преимущественно из солянок и эфемеров.

Окраска чешуйчатого покрова этой небольшой ящерицы (длина тела не превышает 5 см при весе до 6,5 г) настолько удачно сливается с цветовым фоном каменной поверхности, что неподвижно сидящую круглоголовку невозможно разглядеть с самого близкого расстояния. Верхняя сторона тела ящерицы светло-коричневого или охристого оттенка с мелкими нечетко выраженными белыми пятнышками, конечности и хвост покрыты темными поперечными полосами. По бокам туловища и шеи располагаются по четыре хорошо заметных круглых пятна темно-коричневого или бурого цвета. Такого же цвета увеличенные и несколько приподнятые чешуйки, образующие на спине бугорки, благодаря которым ящерица становится еще менее заметной.

Круглоголовка совершенно избегает открытых сплошных песков, нередко перемежающихся со щебнем. Не встречается она или встречается очень редко и на песчаных участках с очень небольшой примесью щебня и гальки. Зато на отдельных участках щебнистой поверхности плотность круглоголовок, по нашим подсчетам, достигает 22 особей на 1 га.

Долгое время было неясно, где ящерицы укрываются от врагов и переживают неблагоприятные условия. Обычно, заметив опасность, круглоголовка отбегает на несколько метров и затаивается. Иногда она, плотно прижавшись к поверхности, делает вибрирующие движения телом, подобно песчаной и ушастой круглоголовкам, которые таким способом закапываются в песок. Хентаунская круглоголовка в рыхлом грунте также может слегка прикопаться, оставив на поверхности верхнюю часть туловища и голову.

В 1952 г. Е. Е. Сыроечковский нашел в Северных Кызылумах одну норку хентаунской круглоголовки, но как она используется, он не выяснил. Позднее автору заметки удалось установить, что норки служат для ящериц основным убежищем. Длина слегка заворачива-

ющего в сторону хода в рыхлом опесчаненном грунте достигает 30—40 см, в более плотном суглинке — всего около 10 см. В норках, расположенных на глубине 15—20 см, ящерицы скрываются от неблагоприятных условий или же ночуют, но нам никогда еще не приходилось наблюдать, чтобы животные прятались в них при внезапной опасности.

Интересно, что в летний период, когда почва сильно прогревается, температура слоя, в котором заканчивается норка, не поднимается днем выше 40 °С. В дальнейшем оказалось, что глубина залегания хода зависит от плотности грунта и его температурного режима, который имеет для ящерицы большое значение. В утренние часы, когда температура почвы и воздуха еще недостаточно высоки (23—27 °С), круглоголовки выбирают наиболее прогреваемые участки: чаще всего ящерицы устраиваются на обращенных к солнцу склонах бугорков и других неровностей. Только разогревшись, они начинают активную жизнь. Но уже примерно к 10 часам утра, когда поверхность почвы прогревается до 46—48 °С, круглоголовки уходят в норки, спасаясь от перегрева. Незадолго до этого их можно чаще всего обнаружить в тени мелких кустарников или в валяющихся на земле веточках и щепках, которые не так сильно нагреты. Ящерицы сидят, приподняв тело не вытянутых лапках, повернувшись мордочкой к солнцу, абрисом и позой напоминая маленьких собачек. При этом тело круглоголовок располагается параллельно солнечным лучам, а слегка запрокинутая голова отбрасывает длинную тень на туловище. Весной и осенью круглоголовки обычно активны в самое теплое время дня, а летом в самую жару (приблизительно с 10 утра до 6 часов вечера) они прячутся в укрытия. Причина столь длительной перерыва в дневной активности (этим круглоголовки отличаются от многих пустынных видов) заключается в том, что ящерицы обитают на открытой каменной поверхности, которая сильно разогревается за день и долго держит тепло. С наступлением осенних

холодов (по нашим данным, в конце октября — начале ноября) круглоголовки уходят на зимовку.

С конца мая до конца июня самка откладывает от двух до пяти яиц и, судя по числу размерных групп сеголетков, за сезон бывает две кладки. Продолжительность жизни хентаунской круглоголовки невелика — всего один год. Во второй половине июля ее популяция полностью обновляется.

Круглоголовка питается мелкими насекомыми, преимущественно муравьями, порой они составляют 97 % ее рациона. Поедает она также мелких жуков, прямокрылых, уховертков, клопов, пауков, а иногда и молодые побеги растений. Охотится круглоголовка примерно так: заметив насекомое и оставаясь неподвижной, следит за ним, затем быстро подбегает к жертве и, сделав резкий выпад, хватает ее. Расправившись с добычей, круглоголовка осматривается: если поблизости имеется небольшое возвышение, например бугорок, ящерица перебирается на него и, заняв удобную позицию, обозревает свои владения в надежде продолжить охоту. Когда же круглоголовка не успевает схватить летящее насекомое, она некоторое время преследует его, забавно подпрыгивая на несколько сантиметров.

Круглоголовки имеют свой участок обитания, где они охотятся и строят укрытия и который охраняют от других особей своего вида. Индивидуальные участки, как правило, небольшие: у молодых ящериц площадь одного такого участка достигает 140 м².

Современное состояние хентаунской круглоголовки, обитающей на небольших изолированных участках, внушает опасения. Площадь обитаемых ею территорий сокращается из-за хозяйственного освоения пустыни.

Природа Средней Азии не только уникальна, но и очень ранима при неосторожном вмешательстве человека, и наибольшей опасности, как правило, подвергается существование малочисленных и узкоареальных видов. Хентаунская круглоголовка как раз входит в их число.

Халцедоны Алазейского плоскогорья

В. М. Мерзляков,
кандидат геолого-минералогических наук

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВНЦ АН СССР
Магадан

Алазейское плоскогорье находится за полярным кругом в северо-восточной Якутии. Оно представляет собой часть обширного водораздела между реками Колымой и Индигиркой. Средняя высота плоскогорья не превышает 350 м над ур. м., тогда как отдельные его вершины и хребты поднимаются несколькими уступами до 950 м. Имя плоскогорью дала река Алазья, которая здесь начинается и течет к Восточно-Сибирскому морю. Отсюда же берут начало два крупных притока реки Колымы — Седедема и Ожогина, а также приток Индигирки — Бадяриха.

В верховьях этих и других рек, дренирующих Алазейское плоскогорье, мы и натолкнулись на халцедоновые россыпи. Халцедоны, конечно, не были целью нашей экспедиции — мы забрались так далеко для изучения геологических особенностей Алазейского плоскогорья. Но какой геолог пройдет равнодушно мимо подобной красоты?

О россыпях халцедонов Алазейского плоскогорья стало известно еще в конце 30-х годов, когда там побывали В. Н. Сакс и В. М. Лазуркин. С тех пор их отмечали все работавшие в этом районе геологи. Однако подробно они описаны не были.

В коренном залегании мы обнаружили халцедоны в центральной части плоскогорья в виде включений в базальтах. Но практический интерес представляют те халцедоны, которые высвобожжены из горных пород процессами выветривания и перенесены реками в виде валунов и галек. Особенно богата халцедоновая россыпь на Седедеме. Она начинается в двух

километрах выше устья ее правого притока Хайырдах и тянется с небольшими перерывами вниз по течению почти на 30 км. Здесь мы отметили множество богатых халцедонами аллювиальных кос шириной от 10 до 300 м и длиной до 1,5 км. Конфигурация кос из года в год заметно меняется, так как они постоянно перебиваются паводками. Распределены халцедоны в россыпи крайне неравномерно. Наибольшее их количество скапливается в головных частях кос и на современных перекатах, где к тому же находятся самые крупные экземпляры халцедонов. Особенно хорошо халцедоны выделяются среди прочего обломочного материала в погожие дни, когда они загораются на солнце разноцветными огоньками.

Халцедоны встречаются в виде слабо окатанных обломков, обычно сохраняющих исходную караваяобразную, шаровидную или яйцевидную форму. Характерны также бугристые желваки с причудливыми «скульптурными» деталями. Все это, в сущности, слепки тех газовых полостей в раскаленных лавах, где миллионы лет назад из кремнистых растворов рождались эти минералы.

Окраска халцедонов Седедемского месторождения необычайно разнообразна. Здесь преобладают красновато-коричневые и оранжево-бурые сардеры, медово-желтые и золотистые сердолики, голубовато-серые сапфирины. Изредка попадаются ярко-красные, красновато-оранжевые и розовые карнеолы, а также смоляно-черные или фарфорово-белые опаловидные разновидности халцедонов. По характеру рисунка выделяются концентрически-зональные экземпляры — агаты, параллельно — полосчатые — ониксы, однородные моноцветные разновидности.

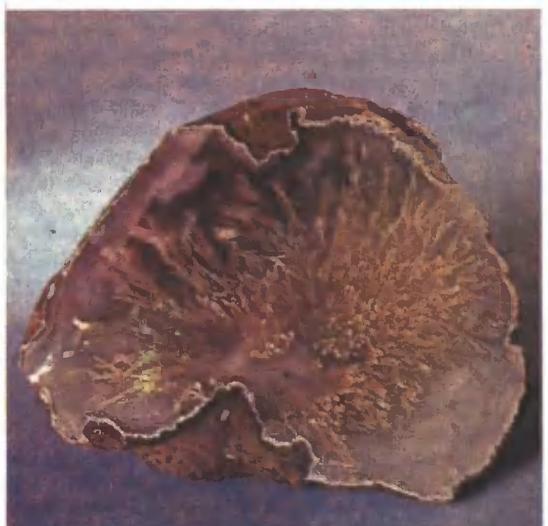
В агатах и ониксах, представляющих наибольшую ценность в качестве поделочного

материала, возможны все перечисленные окраски, но цветовая гамма каждого отдельного образца обычно представлена двумя-тремя основными тонами. Толщина отдельных зон в агатах и ониксах меняется от долей миллиметра до 1—3 см, а количество их достигает нескольких десятков. Внутренние зоны агатов обычно заполнены молочно-белым или серым кристаллическим кварцем и очень редко — бледно-фиолетовым амethystом. Кварц либо нарастает на стенках полостей в виде щеток и друз, либо заполняет эти полости сплошной зернистой массой. Иногда поверхности пустот бывают выстланы необычайно красивыми натечными корочками карнеолов и сардеров. Центральные части некоторых разновидностей агатов украшают тонкие (толщиной 1—2 мм) черные дендриты, состоящие из окислов марганца. Очень хороши и «пейзажные» разновидности халцедонов. Как правило, это ониксы, чей рисунок особенно интересен, если образец распилил по плоскости, почти параллельной его полосчатости.

В образцах, состоящих из агатов, и ониксов (так называемый уругвайский тип халцедонов), вокруг полосчатых разновидностей имеется даже своеобразная рамка из красновато-коричневой окиси кремния. Из однородно окрашенных халцедонов особого упоминания заслуживают бледно-фиолетовые и фиолетово-голубые разновидности.

Помимо декоративно-прикладного значения, халцедоны интересны и как минералогический объект. Большая коллекция халцедонов с Алазейского плоскогорья хранится в геологическом музее Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ДВНЦ АН СССР в г. Магадане.

Некоторые разновидности халцедонов Алазейского плоскогорья.



Глубинный диапиризм — альтернатива новой глобальной тектоники!

В. К. Кучай



Валерий Кириллович Кучай, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и геофизики СО АН СССР. Занимается общими проблемами современной динамики Земли, геодинамикой зон современного горообразования, прогнозом землетрясений, математическими методами геологического прогнозирования. Автор монографий: Зонный орогенез и сейсмичность. М., 1981; Тектоническая расслоенность литосферы новейших подвижных поясов (в соавторстве с В. И. Макаровым и др.). М., 1982; Современная динамика Земли и орогенез Памиро-Тань-Шаня. М., 1983.

Около двадцати лет прошло с тех пор, как в геологии появилась новая геодинамическая концепция, получившая название плитовой, или новой глобальной тектоники. Возродившая на современном уровне мобилистские идеи в геологии, эта гипотеза, безусловно, сыграла большую роль в познании нашей планеты. Однако в последнее десятилетие появилось немало новых данных о глубинном строении Земли, не объяснимых с позиций плитовой тектоники.

В этой статье речь пойдет о модели динамики верхних слоев планеты — литосферы, содержащей немало положений плитовой тектоники, но в то же время во многом отличной от нее. Мы называем нашу модель глубинным диапиризмом. Термином «диапир» в геологии принято обозначать проникшие из недр близко к поверхности магматические (или, например, соляные) тела, раздвинувшие при этом породы, в которые эти тела внедрились. Подобные процессы внедрения в литосферу огромных порций легкого материала из мантии Земли служат, по нашему мнению, основным механизмом ее динамики.

Чтобы лучше понять суть этой новой модели, необходимо вспомнить некоторые положения плитовой тектоники. Верхняя жесткая оболочка Земли — литосфера — толщиной около 50—70 км в океанах

и 200—300 км на континентах залегает на слое пониженной вязкости — астеносфере. Ниже — вплоть до ядра — располагается средняя и нижняя мантия, вовлеченная вместе с астеносферой в конвективный процесс, вызванный перепадом температур, с отчетливо выраженными восходящими и нисходящими ветвями. Сама литосфера разбита на ряд жестких плит, которые под воздействием конвективных течений перемещаются со скоростью нескольких сантиметров в год. Там, где плиты расходятся, возникают рифтовые зоны, в которые по разломам проникает горячее глубинное вещество. Застывая, оно наращивает края литосферных плит. В местах сближения континентальных и океанических плит над нисходящими ветвями конвективных ячеек океанические плиты погружаются глубоко в мантию под континентами. Если же легкие континентальные плиты сталкиваются, литосфера скучивается, утолщается и возникают горные сооружения типа Альпийско-Гималайского горного пояса.

Недавно выяснилось, что реально существующего в глубинах температурного перепада явно недостаточно, чтобы вызвать конвективные течения. С непреодолимыми трудностями встречались и попытки построить, учитывая фактический

материал, системы конвективных токов с восходящими и нисходящими ветвями. Так, в рамках представлений плитовой тектоники, вдоль западного края Северо-Американского континента, где Северо-Американская плита движется на запад, должна существовать нисходящая ветвь конвективного мантийного потока. В то же время имеются данные о раскрытии Калифорнийского залива и растяжении литосферы в Провинции Бассейнов и Хребтов, свидетельствующие о том, что примерно в том же районе (западная часть США) мантийный поток должен подниматься к литосфере.

Все эти трудности объяснения реально существующих процессов можно обойти, пользуясь моделью химико-плотностной конвекции, разрабатываемой советским геофизиком Е. В. Артюшковым¹. Согласно ее положениям, возникшие в результате плавления в нижней части мантии тяжелые продукты присоединяются к ядру Земли, а на границе с нижней мантией скапливаются крупные объемы неустойчивого легкого материала. По глубинным каналам-разломам он крупными порциями всплывает в более высокие горизонты, вплоть до литосферы и земной коры. Таким образом, мантию и литосферу можно разделить на относительно узкие горячие зоны (глубинные каналы-разломы, по которым внедряется горячее вещество) и разделяющие их обширные холодные зоны.

Анализ современного теплового поля Земли действительно свидетельствует о большой разнице температур на одних и тех же глубинах. Так, если в холодных зонах на поверхности Мохоровичича (около 40—50 км ниже ур. м.) температура не превосходит 400—500 °С, то в горячих зонах на этих же глубинах температура достигает 800—1000 °С.

В мантии, литосфере и земной коре существуют ловушки, в которых скапливается поднимающееся по глубинному каналу-разлому горячее вещество. Вязкость этих скоплений, называемых астенолинзами, на несколько порядков ниже вязкости разделяющих их слоев — литопластин. По данным Г. Н. Бугаевского, С. В. Крылова и других геофизиков, зоны пониженных скоростей распространения сейсмических волн, свидетельствующих об уменьшении вязкости вещества вблизи подводящего канала (нередко глубиной в несколько ты-

ся километров), имеют достаточно сложную конфигурацию. В частности, телесейсмическое просвечивание мантии Земли в Байкальском регионе позволило С. В. Крылову доказать, что глубинный канал проникает здесь не менее чем на 2,5 тыс. км. Кроме хорошо известной геологам астенолинзы, расположенной непосредственно под земной корой Байкала, здесь удалось установить значительно более мощный слой пониженных скоростей (астенолинзу) в мантии на глубине около 1000 км.

Источником горизонтальных движений литопластин мантии, литосферы и земной коры являются растекание астенолинз и гравитационное сползание с них литопластин, а значительно перемещаться им в горизонтальном направлении позволяет слабая связь с подстилающими толщами мантии. Она вызвана двумя причинами. В пределах горячих зон литопластины отделены от подстилающей мантии мощными толщами астенолинз, затрудняющих передачу касательных напряжений от кровли астенолинзы к ее подошве. Вне горячих зон, где отсутствует ясно выраженный астеносферный слой, причина перемещения иная. По данным американских геофизиков Дж. Аффена и К. Джессопа, распределение температуры и давления в недрах Земли таково, что на глубинах около 100 км при температурах 1400—1500 °С происходит капельное выплавление базальта из твердого ультраосновного материала, что приводит к резкому падению вязкости мантийного вещества на этих глубинах. По этой зоне частичного плавления мантийного вещества, как по смазке, литосферные плиты также имеют возможность скользить.

Таким образом, мы приходим к выводу, что к слабосвязанным с мантией литосферным плитам в горячих зонах приложены активные силы, обеспечивающие горизонтальные перемещения самих плит и раскрытие дна океана над горячими зонами. В этом — одно из принципиальных различий плитотектонического построения и модели глубинного диапиризма.

Посмотрим, к каким последствиям приводит механизм глубинного диапиризма в современной динамике литосферы.

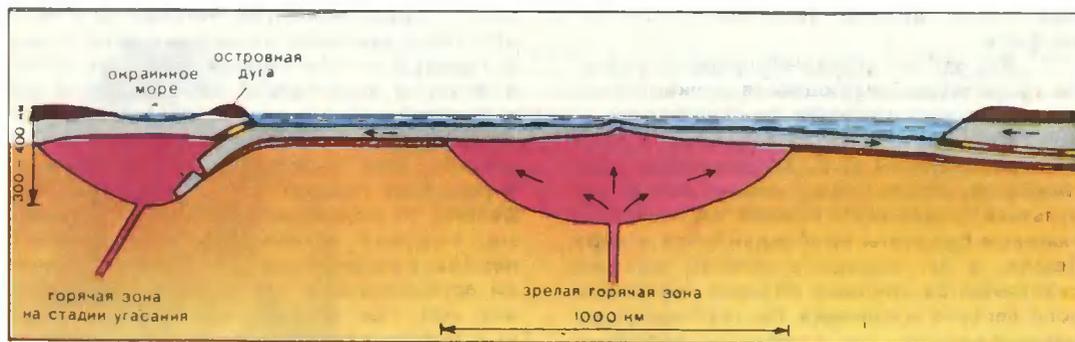
ГОРЯЧИЕ ЗОНЫ И КИНЕМАТИКА ПЛИТ

Начнем с того, что глубинные каналы — горячие зоны, по которым всплывает горячее вещество, находят свое отражение в структуре литосферы и в измене-

¹ Артюшков Е. В. Геодинамика. М., 1979.

нии ее реологических свойств. Во-первых, горячие астенолинзы прогревают литопластины, что вызывает уменьшение вязкости. Поэтому под горячими зонами находятся наиболее легко деформируемые участки литосферы и земной коры. Во-вторых, в зависимости от интенсивности поступления горячего вещества по глубинному каналу существенно варьируют силы, стремящиеся растянуть и сделать более тонкими литопластины над горячими зонами.

Действительно, если астенолинза постоянно подпитывается горячим веществом, она растекается и литопластины быстро соскальзывают с нее. Если же по каким-либо причинам подводящий канал захлопнулся и активное поступление горячего материала прекратилось, то астенолинза достаточно быстро, по геологическим масштабам времени (примерно за 100 тыс. лет), достигнет равновесного состояния и уже не будет служить источником растягиваю-



Формирование главнейших структурных элементов литосферы в рамках модели глубинного диапиризма. В силу инверсии плотностей от границы ядро — мантия Земли легкие продукты по глубинным разломам-каналам поднимаются к подошве литосферы и земной коры, создавая астенолинзы. Растекание этих линз и гравитационное соскальзывание с них литосферы обеспечивают горизонтальные движения литопластин. Глубинные каналы, по которым происходит подъем горячего вещества — горячие зоны, в своем развитии проходят три стадии: зарождения, зрелости и угасания. Вертикальный масштаб на рисунке сильно увеличен по сравнению с горизонтальным.

-  Горячее разуплотненное вещество астенолинзы
-  Океаническая кора и «базальтовый» слой на континентах
-  Гранитный слой земной коры
-  Верхняя мантия

«Смазочные» слои:

-  на подошве литосферных плит
-  на кровле пододвинутой литосферной плиты
-  Направление горизонтального движения плиты
-  Направление течений вещества в горячей зоне

щих усилий. Но тем не менее роль астенолинзы в динамике литосферы продолжает оставаться высокой. Дело в том, что из-за низкой теплопроводности литосферы астенолинза охлаждается медленно и в течение сотен миллионов лет литосфера, перекрывающая такую угасшую горячую зону, останется относительно прогретой, ее вязкость низкой, а потому литосферная пластина относительно легко деформируется.

В принципе, можно выделить три стадии эволюции горячих зон: зарождения, зрелости и угасания.

Опираясь на эту эволюционную цепочку, можно считать, что зоны образования континентальных рифтов типа Байкальского соответствуют стадии зарождения горячей зоны, а океан со сформировавшейся океанической корой — стадии зрелости. Что касается стадии угасания, то, по нашему мнению, в этой фазе находится при современных тектонических условиях горячая зона под Альпийско-Гималайским горным поясом, так называемая Тетисная горячая зона.

По данным палеогеографических реконструкций, в палеозое происходило расширение океана Тетис. В рамках модели глубинного диапиризма (горячих зон) нужно полагать, что в это время внутри океана

существовала горячая зона в стадии зрелости. Горячее вещество в нее поступало при расхождении литосферных плит Гондваны и Евразии. Позже плиты стали сближаться. Это можно допустить в том случае, если продукты химико-плотностной дифференциации по глубинному каналу Тетисной горячей зоны стали поступать с меньшей интенсивностью. О существовании современной горячей зоны под литосферой Альпийско-Гималайского горного поя-

са свидетельствуют высокая температура мантийного вещества (до 800—1000 °С на поверхности Мохоровичича) и сохранившиеся до сих пор в верхней мантии Альпийско-Гималайского горного пояса большие объемы разуплотненного вещества, обладающего пониженными скоростями прохождения сейсмических волн².

Разуплотненные астенولينзы в мантии и повышенный тепловой поток установлены и под островными дугами и ок-

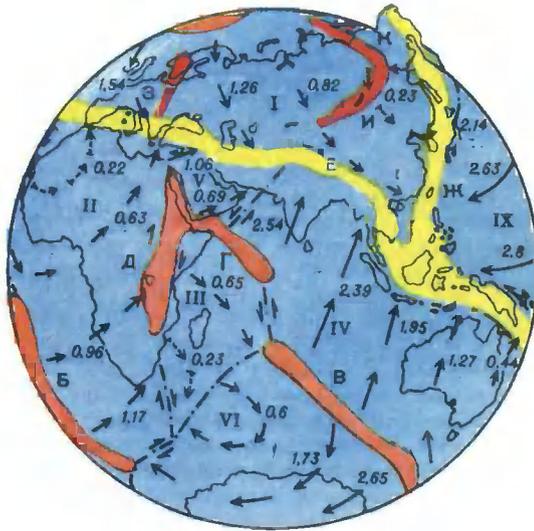
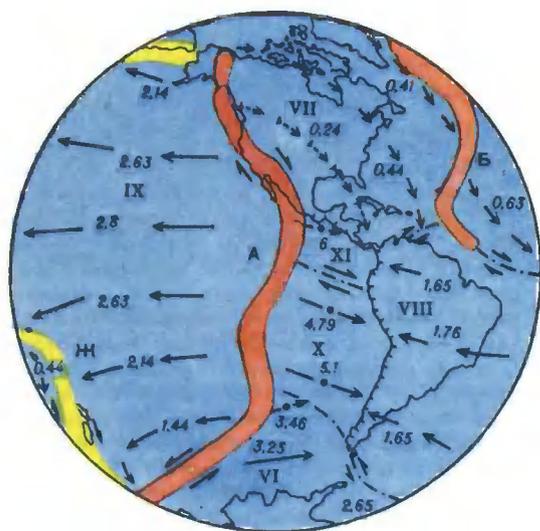


Схема движения литосферных плит. Скорости и направления движения рассчитаны в рамках модели глубинного диапризма. Римскими цифрами обозначены литосферные плиты: Евразийская — I, Африканская — II, Сомалийская — III, Индийская — IV, Аравийская — V, Антарктическая — VI, Северо-Американская — VII, Южно-Американская — VIII, Тихоокеанская — IX, Наска — X, Кокос — XI; прописными буквами — горячие зоны: Восточно-Тихоокеанская — А, Срединно-Атлантическая — Б, Индийская — В, Красноморская — Г, Восточно-Африканская — Д, Тетисная — Е, Западно-Тихоокеанская — Ж, Рейнская — З, Байкальская — И, Московская — К.

 Литосферные плиты

 Границы литосферы плит типа «надви́г — поддви́г» за пределами горячих зон

Векторы скоростей движения литосферных плит, см/год:

 0,3 и менее

 больше 0,3

Стадии развития горячих зон:

 зарождения

 зрелости

 угасания

 Сдвигаемые границы литосферных плит за пределами горячих зон

раинными морями на западе Тихого океана. В прошлом здесь, видимо, располагалась активная горячая зона, следы которой сохранились в виде магнитных аномалий с полосовой структурой, свойствен-

² Алексеев А. С., Рябой В. З. Новая модель строения верхней мантии Земли.— Природа, 1976, № 7, с. 64.

ной только участкам активного раскрытия дна океана. По этим признакам Западно-Тихоокеанскую зону также можно отнести к горячей зоне, находящейся на стадии угасания.

В стадии зрелости находятся пять главнейших горячих зон. Восточно-Тихоокеанская и Срединно-Атлантическая пространственно совпадают с одноименными внутриокеаническими поднятиями. Индийская горячая зона простирается от Австрало-Антарктического поднятия к Аравийско-Индийскому хребту в Индийском океане, в Красном море ее продолжает Красноморский рифт. Наконец, система Восточно-Африканских рифтов составляет Восточно-Африканскую горячую зону.

В большинстве своем границы литосферных плит проходят непосредственно над горячими зонами. Однако существуют и исключения. Например, Южно-Американская континентальная плита движется на океаническую плиту Наска за пределами горячих зон. Здесь границы литосферных плит выделены по расположению зон линейных концентраций очагов землетрясений, эпицентры которых находятся в пределах земной коры. Выявленные по этому признаку 11 наиболее значительных литосферных плит в большинстве своем совпадают с плитами, рассматриваемыми в плитотектонических построениях: Евразийская, Африканская, Сомалийская, Индийская, Антарктическая, Северо-Американская, Южно-Американская, Наска, Кокос, Тихоокеанская, Аравийская.

С помощью модели глубинного диапиризма нам удалось получить некоторые данные о скорости и траектории передвижения литосферных плит, более близкие к современным геологическим материалам, чем расчеты, сделанные в рамках плитовой тектоники. Мы не будем подробно останавливаться на методике этих расчетов, освещенных в научной печати³. Отметим только, что они базировались на исследовании так называемых полосовых магнитных аномалий, дающих возможность судить о скорости раскрытия дна океана. Эти скорости пропорциональны приложенным к плитам силам, и, если использовать правило сложения векторов на сфере, мож-

но рассчитать и траекторию движения литосферных плит.

Полученные нами скорости неплохо согласуются с данными наблюдений. Так, скорость сокращения ширины Памиро-Гималайского горного пояса в меридиональном направлении по нашим данным — 2,6 см/год, а по данным геологических наблюдений — 2—3 см/год. Соответствующие цифры для Главного Копетдагского разлома: 5—6 мм/год — несколько мм/год; правого сдвига по разлому Сан-Андреас: 1,96 см/год — 2 см/год, и т. п.

Интересно, что расчетные скорости горизонтального перемещения литосферных плит примерно на 1/3 меньше скоростей раскрытия дна океана во внутриокеанических поднятиях. Можно полагать, что эта 1/3 смещений расходуется на внутриплитные деформации, т. е. сами плиты нельзя считать абсолютно жесткими, как это принято в плитовой тектонике.

Кинематические характеристики движений плит с течением времени изменяются. Причин тому, по крайней мере, две. Во-первых, при малой изменчивости размеров астенотинз наращивание плит на так называемых конструктивных границах (в зонах раскрытия дна океана, и в первую очередь в областях внутриокеанических поднятий) при прочих равных условиях приводит к увеличению сил трения и уменьшению скорости перемещения плиты. Во-вторых, некоторые плиты перекрывают краевыми частями горячие зоны, что вызывает изменение в распределении сил и изменение траекторий горизонтальных движений.

Так, например, расчеты свидетельствуют о том, что Северо-Американская континентальная плита в процессе своего западного дрейфа примерно 50—60 млн лет назад достигла Восточно-Тихоокеанской горячей зоны и начала «наползать» на нее. Вначале, когда перекрывая горячая зона еще не создавала достаточной тормозящей силы, литосферная плита перемещалась с высокой скоростью, не успевая при этом ни прогреться, ни начать растекаться. Примерно 20—25 млн лет назад участок плиты, задержавшейся над горячей зоной, прогрелся и потерял свою прочность. После этого части литосферных плит, оказавшиеся по разные стороны горячей зоны, двинулись в другом направлении. Если Северо-Американская плита, прежде чем ее перекрыло Восточно-Тихоокеанское поднятие, поступательно смещалась с северо-востока на юго-запад со скоростью около одного сантиметра в год, то после пере-

³ Кучай В. К. Кинематика литосферных плит переменной массы. — Геология и геофизика, 1982, № 1; Он же. Современная динамика Земли и орогенез Памиро-Тянь-Шаня. М., 1983.

крытия ее большая часть движется с северо-запада на юго-восток, а меньшая — западная — смещается почти строго на запад. Поэтому участок континентальной литосферы, находящийся под горячей зоной Восточно-Тихоокеанского поднятия, интенсивно растягивается не только за счет растекания горячей астенوليны, но и в результате сложившихся 20—25 млн лет назад направлений движений частей Северо-Американской плиты, расположенных по разные стороны горячей зоны. Вследствие этого непосредственно под горячей зоной (Провинция Бассейнов и Хребтов) толщина земной коры ныне составляет 25—30 км при обычной мощности земной коры в этом районе — около 40—50 км.

Таковы главнейшие закономерности глобальной кинематики литосферных плит, следующие из модели глубинного диапиризма. Обратимся теперь к геодинамике тех частей плит, которые расположены непосредственно над горячими зонами на стадиях зарождения, зрелости и угасания.

ГЕОДИНАМИКА ПЛИТ НАД ГОРЯЧИМИ ЗОНАМИ

Активизация тектонических процессов в литосфере над горячей зоной на стадии зарождения вызывается внедрением разуплотненных астенолинз как в нижние слои — подошву литосферы, так и в более высокие горизонты собственно литосферы. Дискретное поступление вещества по глубинному каналу обеспечивает колебательный характер вертикальных движений, поэтому эпохи интенсивных поднятий, следующие за внедрением порции легкого материала, сменяются периодами относительных погружений поднятых блоков во время растекания астенолинзы. Надо полагать, что и эпохи интенсивного горизонтального растяжения сменяются периодами ослабления (и, быть может, даже исчезновения) растягивающих усилий в литопластинах. Тогда и периоды активных излияний основных лав по трещинам (эпохи интенсивного растяжения) должны чередоваться с периодами, в которых такие излияния отсутствуют. И еще одна интересная особенность: уменьшение плотности вещества астенолинзы по мере приближения к глубинному каналу приводит к закономерному перекосу блоков литопластин — их края, обращенные к подводющему каналу, должны быть относительно опущенными, а противоположные — приподнятыми. Такая асимметрия — характерная черта литосферы рифтовых зон.

Рассмотренные закономерности находят в хорошем согласии с известными в настоящее время данными о структуре и эволюции, например, Байкальского рифта, формирующегося над горячей зоной на стадии зарождения.

На стадии зрелости горячей зоны масштаб геологических явлений гораздо более грандиозный. Так же как и в горячих зонах на стадии зарождения, горячий материал поступает дискретно и значительными порциями. В моменты внедрения дополнительных объемов разуплотненного вещества трещины-разломы литосферы раскрываются и по ним внедряется в кору магма. Она быстро остывает, формируя дайкоподобные тела, сосредоточенные вблизи подводящего магму канала. Периодические инверсии магнитного поля Земли приводят к различной намагниченности этих «даек», что является причиной полой структуры магнитных аномалий дна океана.

По мере растекания астенолинза постепенно приближается к равновесному состоянию, которое характеризуется закрытием подводящих магму каналов и ослаблением тектоно-магматической деятельности.

Мы уже говорили, что в процессе латеральных перемещений края литосферных плит могут перекрывать горячие зоны, в том числе и зоны, находящиеся на стадии зрелости. Еще раз в качестве примера используем западную окраину Северо-Американского континента, в которой толщина земной коры Провинции Бассейнов и Хребтов, находящейся над горячей Восточно-Тихоокеанской зоной, уменьшилась до 25—30 км. В обычных условиях на месте этой Провинции при такой тонкой земной коре должно было бы образоваться окраинное море, отделенное на западе от океана островной дугой блока гор Сьерра-Невада, в котором мощность земной коры осталась равной 50 км. Однако из-за активного поступления вещества в Восточно-Тихоокеанскую горячую зону литосфера здесь приподнята по отношению к обычным условиям примерно на 3 км, отчего на западе США на тонком слое земной коры и образовались горы. Чтобы понять, что произойдет на западе Северо-Американского континента, если на смену стадии зрелости горячей зоны придет стадия угасания, достаточно обратить внимание на западное побережье Тихого океана, где протянулась цепочка окраинных морей и островных дуг.

Здесь по глубинному каналу мате-

риал поступает не слишком интенсивно. Поэтому литосфера не приподнята, и вместо гор на тонкой земной коре (типа гор Провинции Бассейнов и Хребтов) возникли окраинные моря, а вместо гор с нормальной континентальной корой (например, таких как горы Сьерра-Невада) образовались цепочки островных дуг. Из-за той же низкой интенсивности поступления горячего вещества по глубинному каналу литосферные плиты не расходятся в стороны от Западно-Тихоокеанской горячей зо-

ны, а, напротив, сходятся к ней. Транспортируемая сюда океаническая литосфера тяжелее вещества разогретой астеносферы и тонет в ней под действием силы тяжести, при этом разрушаясь и переплавляясь.

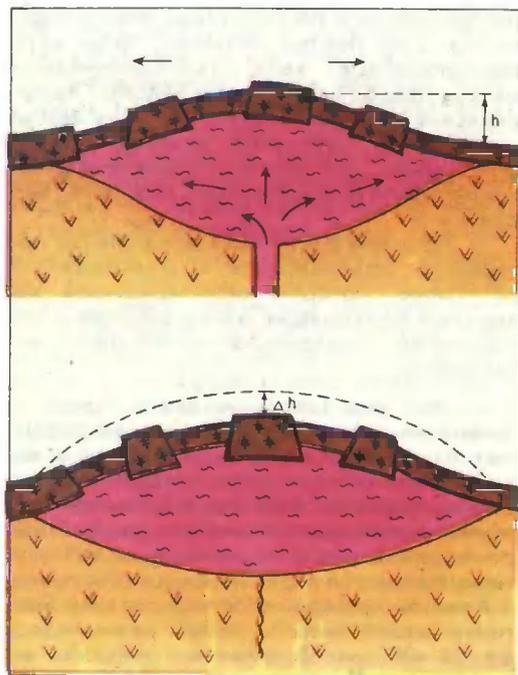
За пределами горячих зон при взаимодействии континентальной и океанической литосферных плит легкая континентальная плита подминает под себя тяжелую океаническую, и окраинные моря не формируются. В океанической плите, оказавшейся на глубинах 100 км и более, базальтовый слой плавится, и по нему, как по смазке, легко скользитдвигаемая континентальная плита. По такому типу происходит взаимодействие Южно-Американской континентальной плиты и океанической плиты Наска.

При столкновении континентальных плит, которые из-за своей легкости не могут погрузиться в вещество астеносферы, они сливаются — сжимаются. Можно считать, что этот процесс идет сейчас только в Альпийско-Гималайском горном поясе над Тетиской горячей зоной.

Советскими геологами в крупном разломе на Памире установлен контакт пород с остатками различной фауны — тропической Северо-Тетиской и приполярной Южно-Тетиской. Еще в пермское время эти породы были разделены обширным океаном Тетис и лишь в мезозое соединились в результате горизонтальных движений масс, закрывших океан. При этом в краевых частях Евразийской и Индостанской литосферных плит образовалась серия геосинклинальных прогибов.

Если руководствоваться моделью глубинного диапиризма, то возникновение прогибов связано с перекрытием горячей зоны краем континентальной плиты, прогреванием плиты и ее растяжением. Этот процесс наиболее интенсивно идет над центральными частями горячей зоны, вблизи ее глубинного канала. Здесь обычно формируется система морских бассейнов и разделяющих их островов — поднятий — в качестве современного морфологического аналога можно привести систему морей: Южно-Китайского, Яванского, Сулу, Сулавеси, Филиппинского с расположенными здесь Зондскими о-вами.

Что же касается периферии горячей зоны, то переработка плиты, ее прогревание и растекание здесь значительно менее заметны. Тем не менее появление в основании литопластины астеносферы с аномально низкой вязкостью вызывает и здесь резкую активизацию вертикальных текто-



Горячая зона на стадии зарождения. Внедрение астеносферы в земную кору вызывает ее поднятие на величину h . Затем блоки земной коры, стремясь к изостатическому равновесию, «проседают» в вещество астеносферы на величину Δh .

Поднятие блоков сопровождается трещинными излияниями базальтов. Если активных сил, приложенных к горячей зоне, недостаточно для горизонтального смещения литопластины, то по ее периферии горизонтальные растягивающие напряжения сменяются сжимающими. Такая закономерность, например, характерна для Байкальской рифтовой зоны.

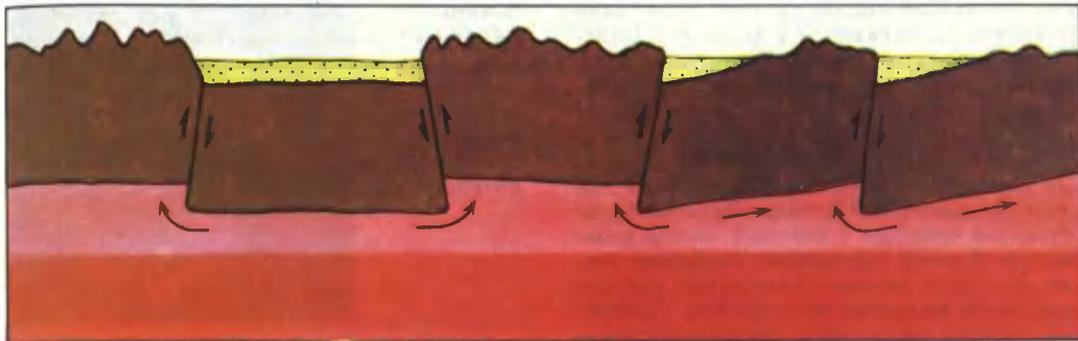
-  Астеносфера
-  Верхняя мантия
-  Земная кора
-  Направление течения вещества аномальной мантии в астеносфере

нических движений, сопровождающихся перекосами блоков и заложением систем впадин и поднятий с достаточной мощными литосферой и земной корой.

Таким образом, в момент столкновения Евразийской и Индостанской литосферных плит их реологические свойства в разных частях горячей зоны были различны: по периферии горячей зоны вязкость литопластин была высокой, а в ее центральных частях — ниже, не менее чем на порядок. Это нашло свое отражение в осо-

бенностях как самих деформаций, так и истории развития литосферы Евразийской и Индостанской плит. Вязкость литосферных плит над центральными частями горячей зоны была настолько низка, что напряжения горизонтального сжатия не могли передаваться на значительные расстояния. Поэтому интенсивному смятию и деформациям подвергались в первую очередь горные массы, непосредственно прилегающие к монолитным частям плит.

Как показывают расчеты, скорости



Торозение литосферных плит при их столкновении над горячей зоной. В условиях горизонтального сжатия одни из блоков литосферы вдавливаются в астеносферу, а другие выдавливаются. Торозение сопровождается и перекосом блоков. На блоках с вдавленными краями формируются тектонические депрессии, с приподнятыми — хребты-поднятия. Приподнятые основания блоков служат ловушками для скопления наиболее легкого вещества астеинолизы. Из-за этого на подошву вдавленных блоков появляется дополнительная подъемная сила, изостатическая по своей природе. Система вдавленных и выдавленных блоков дает объяснение генезису хребтов и впадин с малоразличающимися мощностями земной коры.

Астеинолиза:

-  легкая часть
-  тяжелая часть
-  Литосфера
-  Рыхлые осадочные отложения
-  Направления перемещений границ блоков
-  Направление течений вещества астеинолизы из-под вдавленных блоков и выдавленным

горизонтальных перемещений Индостанского субконтинента примерно в 2,5 раза выше, нежели Евразийской плиты, поэтому скучивание, утолщение литосферы, сопровождающееся образованием складок и надвигов, наиболее интенсивно происходило во фронтальной части Индостанской плиты. По мере развития этого процесса сжимающие напряжения и движения охватывали все более северные участки (на эту закономерность впервые обратил внимание советский геолог В. Г. Трифонов). После того как скучиванием была охвачена вся прогретая литосфера, ставшая мощной и труднодеформируемой, на смену складчатым деформациям пришли глыбовые перемещения, столь характерные для этапа горообразования как на Памире, так и на Тянь-Шане.

По периферии Тетисной горячей зоны — на территории современного Тянь-Шаня и Алтае-Саянской горной области, где земная кора и литосфера в целом оставались мощными, в основании литосферы появились массы с низкой вязкостью, что вызвало слабое горизонтальное растяжение литосферы (о чем свидетельствуют трещинные излияния базальтов). В олигоцен-миоценовое время (40—20 млн лет назад) здесь сформировалась глыбовая си-

стема поднятий и депрессий, в какой-то мере подобная современной структуре Байкальской рифтовой зоны, но, безусловно, не эквивалентная ей. Эпоха горизонтального сжатия в Тянь-Шане наступила лишь в конце миоцена и плиоцене (10—5 млн лет назад) только после того, как литосфера Гималаев и Памирских дуг испытала сжатие и утолщение. Начиная с этого момента под действием сжимающих усилий, вызванных сближением Евразии и Индостана, мощные блоки пород Памира и Тянь-Шаня с высокой вязкостью испытывают торшение, подобное торшению льда во время ледохода. При этом одни из блоков вдавливаются в вещество Тетисной астенолиты, а другие выдавливаются. В результате формируется система хребтов-поднятий и разделяющих их тектонических депрессий с малоразличающейся по мощности земной корой. Эффект торшения облегчается тем, что приподнятые подошвы выдавленных блоков образуют своеобразные ловушки, в которые из-под вдавленных блоков мигрируют наиболее легкие продукты химико-плотностной дифференциации вещества астенолиты. Скопление легкого вещества в основании поднимающегося блока обеспечивает дополнительную подъемную силу, изостатическую по своей природе.

Известно, что за длительное время, сопоставимое со временем эпох тектонического покоя, земная кора достигает состояния изостатического равновесия, при котором масса земной коры равна массе вытесненного ею вещества верхней мантии.

В этом случае расчетное положение кровли вещества верхней мантии, в соответствии с законом Паскаля, при снятии нагрузки за счет веса земной коры должно находиться в интервале глубин 5—6 км ниже уровня моря. Эта поверхность называется свободной поверхностью мантии (T_0). Допустим теперь, что блок литосферы вдавлен (или выдавлен) на некоторую величину Δh . Тогда расчеты дадут нам не глубину свободной мантии, а некоторую другую величину, которая называется поверхностью напряженной мантии (T'_0). Она тем больше отличается от положения свободной поверхности мантии, чем больше блок вдавлен или выдавлен ($T'_0 > T_0$ во вдавленных блоках и $T'_0 < T_0$ — в выдавленных).

Расчеты глубин поверхности напряженной мантии свидетельствуют о том, что действительно, в соответствии с представлениями о вдавленных и выдавленных блоках, поверхность напряженной мантии в хребтах — поднятиях Тянь-Шаня на 1,5—

2 км выше свободной поверхности мантии, а в тектонических впадинах — депрессиях — ниже. Иными словами, вдавленные и выдавленные блоки — реальное явление, играющее важную роль в современной структуре литосферы южных районов нашей страны.

Таким образом, в рамках модели глубинного диапиризма находят объяснения как глобальные кинематические закономерности литосферных плит Земли, так и тонкие особенности динамики конкретных регионов. Следствия модели находятся в хорошем соответствии с данными о глубинном строении Земли, а расчетная кинематика лучше согласуется с геологическими данными, нежели реконструкция плитовой тектоники. Так что на вопрос, поставленный в заголовке: глубинный диапиризм — альтернатива новой глобальной тектоники?, автор склонен ответить утвердительно.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Артюшков Е. В. ГЕОДИНАМИКА. М.: Наука, 1979.

Артюшков Е. В., Бээр М. А., Соболев С. В., Яншин А. Л. МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫХ ПОЯСОВ.— Советская геология, 1982, № 1.

Кучай В. К. СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЗЕМЛИ И ОРОГЕНЕЗ ПАМИРО-ТЯНЬ-ШАНЯ. М.: Наука, 1983.

ОКЕАНОЛОГИЯ. Геофизика океана. Т. 2. Геодинамика. (Под ред. О. Г. Сорохтина). М.: Наука, 1979.

Пейве А. В., Трифонов В. Г. МОБИЛИЗМ И ТЕКТОНИЧЕСКАЯ РАССЛОЕННОСТЬ ЛИТОСФЕРЫ.— Природа, 1981, № 8.

Интерференция во взаимодействиях мюонов

И. А. Савин



Игорь Алексеевич Савин, доктор физико-математических наук, начальник научно-экспериментального электронного отдела Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований (Дубна). Область научных интересов — экспериментальная физика элементарных частиц.

За последние два десятилетия физики добились крупных успехов в познании строения материи и основных закономерностей микромира. Эти успехи достигнуты на двух фронтах — на теоретическом, где обобщаются накопленные факты, ищутся закономерности, на их основе строятся модели и т. п., и на экспериментальном, где модели проверяются (опровергаются или подтверждаются) и где получают новые данные для их уточнения и дальнейшего развития. Только всесторонне проверенные модели становятся теориями, которые объясняют все известные явления и предсказывают новые.

На наших глазах такой путь проходит (или, вернее сказать, почти прошла) модель, объединившая электромагнитные и слабые взаимодействия. Теоретические построения в основном завершены и теперь подвергаются критической проверке. Одна из главных гипотез этой теории — существование трех тяжелых частиц, именуемых промежуточными векторными бозонами, которые вместе с фотоном являются переносчиками электрослабого взаимодействия. В прошлом году физики Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН, Женева) сумели зарегистрировать промежуточные бозоны в прямых экспериментах

на мощном ускорителе. Честь этого фундаментального открытия принадлежит большому интернациональному коллективу, работающему под руководством К. Рубиа¹.

Две из этих частиц заряжены (W^+ и W^-), а одна — нейтральна (Z^0). Z^0 -бозон обнаруживает себя во многих процессах слабого взаимодействия элементарных частиц. Поэтому целью экспериментаторов являлись не только прямые эксперименты по его рождению на ускорителях, но и поиск косвенных свидетельств его существования, т. е. исследование эффектов, которые являются следствием его наличия в природе.

Мы расскажем об одном из таких экспериментов, который был выполнен в 1980 г. в ЦЕРНе, еще до прямого наблюдения Z^0 -бозонов. Обработка данных и их анализ заняли два года, поэтому результаты эксперимента были опубликованы лишь в 1982 г. Они не только доказывают,

¹ См.: Природа, 1983, № 4, с. 107; № 8, с. 102. См. также: Смондырев М. А. Промежуточные векторные бозоны. — Природа, 1983, № 12, с. 21.

что Z^0 существует, но и свидетельствуют о большем — о том, что два из четырех основных взаимодействий в природе действительно являются различными проявлениями другого, более фундаментального взаимодействия элементарных частиц.

Прежде чем обсуждать эксперимент и его результаты, остановимся несколько подробнее на основных представлениях о строении и свойствах материи и силах, «управляющих миром».

СЕМЕЙСТВА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

По современным представлениям, вся материя построена из двух семейств элементарных частиц — лептонов и кварков.

На сегодня известны 6 лептонов: три заряженных — электрон (с массой около 0,5 МэВ), мюон (105 МэВ) и τ -лептон (1,8 ГэВ) — и три нейтральных (с массой, близкой к нулю) — электронное, мюонное и τ -нейтрино.

Кварки, в отличие от лептонов, в свободном состоянии, по-видимому, не существуют. Однако сейчас уже ни у кого не вызывает сомнения тот факт, что в связанном состоянии они входят в состав протонов, нейтронов, π -мезонов и других частиц, которые называют адронами. Число известных адронов сейчас уже превышает 300.

Экспериментально пока обнаружены кварки пяти видов (или, как принято говорить, ароматов): это кварки u , d , s , c и b . Предсказан, но пока не обнаружен шестой кварк t . Все кварки электрически заряжены, но в отличие от лептонов они имеют дробный заряд, кратный $1/3$ заряда электрона ($-1/3$ у кварков d , s , b и $+2/3$ у кварков u , c и t).

Всем перечисленным частицам, которые на сегодня считаются фундаментальными, соответствуют их античастицы.

Комбинируясь в группы, кварки образуют различные адроны. Частицы, состоящие из трех кварков, называют барионами. К ним относятся, в частности, протон (кварковый состав uud) и нейтрон (udd). Другой обширный класс адронов — это мезоны, в состав которых входят уже не три, а два кварка. Примером может служить π^+ -мезон (кварковый состав ud).

Лептоны и кварки относятся к фермионам — частицам с полуцелым значением специфической квантовой характеристики — спина. В системе единиц, принятой в физике элементарных частиц ($\hbar=c=1$), спин кварков и лептонов равен $1/2$.

ЧЕТЫРЕ ОСНОВНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. НЕ СЛИШКОМ ЛИ МНОГО?

Все наблюдаемые в природе физические процессы происходят, в конечном итоге, в результате того, что элементарные частицы вступают во взаимодействия между собой.

Эти взаимодействия можно разделить на четыре типа: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное. Гравитационное взаимодействие определяет законы движения всех макроскопических тел во Вселенной, но в микромире им можно пока пренебречь (поэтому в дальнейшем мы его учитывать не будем). Слабые взаимодействия ответственны за процессы распада атомных ядер и адронов. Наиболее известный процесс, идущий за счет слабого взаимодействия, это β -распад нейтрона в ядрах. С электромагнитным взаимодействием, так же как и с гравитацией, все мы знакомы «лично»: электричество, радио, телевидение, испускание и поглощение света, магнетизм — все это разнообразные его проявления. Благодаря сильному взаимодействию возникают силы, удерживающие заряженные протоны и электрически нейтральные нейтроны в ядрах атомов. Кроме того, оно ответственно за различные ядерные процессы, большинство из которых в естественных земных условиях не происходят — их можно воспроизвести лишь искусственным путем, например, в ядерных реакторах или ускорителях.

В соответствии с современными представлениями, взаимодействие между двумя элементарными частицами происходит за счет обмена третьей частицей, которая, таким образом, является переносчиком взаимодействия, квантом обусловленного им поля сил. Каждое взаимодействие характеризуется, кроме того, радиусом действия — определенным расстоянием, на котором оно проявляется, и интенсивностью. Чем больше радиус взаимодействия, тем меньше масса частицы-переносчика. Электромагнитные силы отличаются своим дальним действием, соответственно фотон — переносчик электромагнитного взаимодействия — частица, лишенная массы. Радиус слабых взаимодействий, наоборот, очень мал — порядка 10^{-16} см. Поэтому промежуточные бозоны — переносчики слабых взаимодействий — очень массивны, примерно в 100 раз тяжелее протона. Именно поэтому их прямое наблюдение стало возможным лишь недавно, когда в ЦЕРНе был запущен $p\bar{p}$ -коллайдер на энергию 540 ГэВ.)

Интенсивность взаимодействия количественно определяется некоторой постоянной, которую называют константой связи данного взаимодействия. По величине константы связи взаимодействия выстраиваются в следующем порядке: гравитационное, для которого она самая маленькая, слабое, электромагнитное, а затем сильное.

Итак, достаточно двух семейств элементарных частиц и четырех видов взаимодействий, чтобы описать физические процессы, происходящие в природе. Но не слишком ли это много? Ведь нет явной причины, по которой природа должна быть столь «неэкономной». Нельзя ли свести все к одному семейству частиц и одному, но более фундаментальному взаимодействию между его членами? Над этим вопросом уже давно думают физики в честолюбивом стремлении создать единую теорию фундаментальных взаимодействий. Это вовсе не означает отказа от уже достигнутого, от созданных теорий. Речь идет о том, чтобы различные взаимодействия участвовали на равных правах в рамках более общей теории, были проявлениями одного и того же, единого взаимодействия в различных физических ситуациях. Именно так произошло с электрическими и магнитными силами, когда Дж. Максвелл объединил их в одну, показав, что на самом деле они представляют собой две различные реализации единого электромагнитного взаимодействия. Недавно мы стали свидетелями следующего шага: была построена теория, в которой вскрылась тесная связь столь непохожих на первый взгляд взаимодействий, как слабое и электромагнитное.

СТАНДАРТНАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОСЛАБЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Объединение слабых и электромагнитных взаимодействий было достигнуто на основе так называемых калибровочных полей, кванты которых служат переносчиками взаимодействия². В случае электрослабого взаимодействия их четыре: хорошо известный всем фотон γ и три частицы, переносящие собственно слабые взаимодействия — W^+ , W^- и Z^0 . Теория электрослабых взаимодействий была развита в 60-х годах в работах С. Вайнберга, Ш. Глэшоу и А. Салама. За прошедшие годы она доказала свою жизнеспособность, в нее

верят большинство физиков и называют «стандартной».³

При построении стандартной теории, кроме интуиции, аналогии с квантовой электродинамикой и теоретического опыта предшественников, ее авторы использовали также экспериментальные факты о структуре слабых взаимодействий. Они предположили, что при достаточно больших энергиях взаимодействующих частиц электромагнитные и слабые взаимодействия, как два возможных проявления одного, более фундаментального взаимодействия, будут неразличимы в том смысле, что вероятности рождения промежуточных векторных бозонов и фотонов будут сравнимы. Поскольку вероятность таких процессов пропорциональна квадрату соответствующей константы связи, то константы связи слабого и электромагнитного взаимодействий (обозначаемые соответственно буквами g и e) также должны быть сравнимы по величине. В стандартной теории связь между ними очень проста:

$$e = g \cdot \sin \theta_w.$$

Угол θ_w , называемый углом Вайнберга, — это свободный параметр теории, определяемый из опыта. (Обычно приводится не значение самого угла, а квадрат его синуса: $\sin^2 \theta_w = 0,229 \pm 0,010$.) Массы промежуточных бозонов также связаны через этот параметр:

$$M_w = M_z \cdot \cos \theta_w.$$

Стандартная теория замечательна тем, что имеет много предсказаний, проверяемых на опыте. К числу наиболее ярких из них относится предсказание так называемых нейтральных токов — процессов, возникающих вследствие обмена нейтральным Z^0 -бозоном. В момент создания стандартной теории (тогда ее еще просто называли моделью Вайнберга — Салама) такие процессы в эксперименте еще не наблюдались. Они были открыты в ЦЕРНе в 1973 г.⁴

³ За фундаментальный вклад в создание теории, объединяющей слабое и электромагнитное взаимодействия, С. Вайнберг, Ш. Глэшоу и А. Салам были удостоены Нобелевской премии по физике за 1979 г. См.: Кобзарев И. Ю. Лауреаты Нобелевской премии 1979 года по физике — С. Вайнберг, Ш. Глэшоу, А. Салам. — Природа, 1980, № 1, с. 84.

⁴ Мартеньянов В. П. Проблема нейтральных слабых взаимодействий. — Природа, 1974, № 2, с. 105.

² Ансельм А. А. В поисках единой теории фундаментальных взаимодействий. — Природа, 1980, № 6, с. 9; № 7, с. 63.

Важным следствием стандартной теории является то, что величина параметра $\sin^2\theta_w$ должна быть одной и той же, какие бы реакции с участием лептонов (нейтрино, электронов и мюонов) ни изучались. В период с 1973 по 1979 г. этот вывод был также подтвержден в многочисленных экспериментах, выполненных с помощью нейтринных пучков и пучков поляризованных электронов⁵.

Эксперимент с поляризованными электронами был особенно важен, поскольку в нем было получено первое указание на то, что электрослабое взаимодействие объединяет слабое и электромагнитное и действительно существует в природе, а не является просто математической абстракцией, придуманной досужими физиками. Дело в том, что электрон — заряженная частица. Поэтому в отличие от нейтрино, которое может участвовать только в слабых взаимодействиях, переносимых промежуточными бозонами, он вступает также в электромагнитные взаимодействия, переносимые фотоном. Если действительно оба эти взаимодействия вносят свой вклад в процесс рассеяния, то между ними должна иметь место интерференция. Это приведет к тому, что вероятность рассеяния электронов будет зависеть от направления их продольной поляризации. (Продольной поляризацией называется среднее значение проекции спина частицы на направление ее движения. Поляризация может меняться от +1, когда направление спина совпадает с направлением движения, до -1, когда оно противоположно.) В рамках стандартной теории можно вычислить сечение (вероятность) рассеяния для каждой поляризации и определить асимметрию A — разность сечений рассеяния электронов с разной поляризацией, деленную на их сумму. Если сечение рассеяния отрицательных частиц с положительной и отрицательной поляризациями обозначить соответственно $\sigma^-(+1)$ и $\sigma^-(-1)$, то

$$A = [\sigma^-(+1) - \sigma^-(-1)] / [\sigma^-(+1) + \sigma^-(-1)].$$

Асимметрия в рассеянии поляризованных электронов ядрами дейтронов была измерена в опытах на линейном ускорителе Станфордского ускорительного центра (США). Это был очень трудный эксперимент, так как расчеты предсказывали асимметрию на уровне сотых долей процента. Было показано, что знак асимметрии A и ее абсолютная величина

находятся в полном соответствии с теоретическими предсказаниями⁶.

Стандартная теория предсказывает также тонкие эффекты, обусловленные нейтральными токами, которые должны проявляться во взаимодействиях атомных электронов с ядрами тяжелых элементов. Эксперименты по наблюдению этих эффектов были поставлены в 1978—1980 гг. четырьмя группами экспериментаторов. Первыми положительный результат получили Л. М. Барков и М. С. Золотарев в Институте ядерной физики СО АН СССР. Затем близкие результаты были получены физиками из Беркли и Сиэтла (США), но в то же время группа экспериментаторов из Оксфорда (Англия) опубликовала данные, которые сильно отличались от предыдущих. На чистом небосклоне стандартной теории появилось облачко сомнений. Необходимо было поставить новые эксперименты, рассеивающие или, наоборот, укрепляющие эти сомнения.

Одним из них стал эксперимент по изучению асимметрии во взаимодействиях поляризованных положительных и отрицательных мюонов на ядрах углерода.

Асимметрию типа A , наблюдавшуюся в опытах с электронами, можно также наблюдать и в опытах с мюонами. Но, кроме того, с мюонами можно наблюдать другой тип асимметрии в сечениях — асимметрию B , когда одновременно с изменением поляризации падающих частиц изменяется и знак их заряда. По аналогии с A асимметрия B записывается в виде

$$B = [\sigma^+(-1) - \sigma^-(+1)] / [\sigma^+(-1) + \sigma^-(+1)],$$

где верхний значок обозначает заряд мюона.

Расчеты в рамках стандартной модели показывали, что оба типа асимметрии пропорциональны квадрату импульса переданного падающей частицей другим частицам, участвующим в реакции. Ценность обнаружения асимметрии B заключается в том, что если она наблюдается, то стандартная теория получает новое подтверждение на не изучавшемся пока процессе. Более того, если стандартная теория права во всех своих деталях, то асимметрия в процес-

⁵ См.: Смондырев М. А. Экспериментальная проверка модели Вайнберга — Салама. — Природа, 1979, № 4, с. 93.

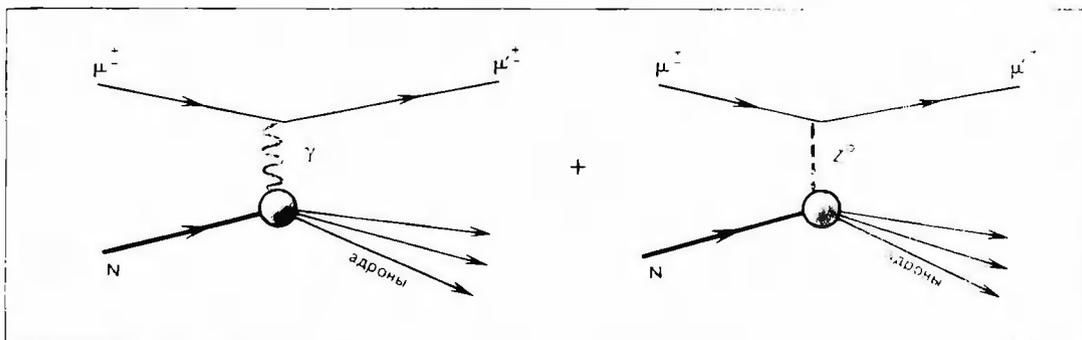
⁶ Несохранение четности при неупругом рассеянии электронов. — Природа, 1979, № 1, с. 114.

⁷ Несохранение четности в атомных переходах. — Природа, 1978, № 11, с. 134.

сах рассеяния мюонов, где переданные импульсы значительно больше, чем в рассеянии электронов, должна быть почти в 100 раз более заметной.

ИДЕЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Итак, что же и как делалось конкретно? Изучались так называемые реакции глубоконеупругого рассеяния мюонов на ядрах углерода (С):



Основные диаграммы Фейнмана, изображающие глубоконеупругое взаимодействие мюонов (μ^\pm) с нуклонами (N) [точнее, с составляющими их кварками]. Слева — рассеяние мюонов за счет электромагнитного взаимодействия с обменом одним фотоном (γ); справа — рассеяние за счет слабого взаимодействия с обменом Z^0 -бозоном. Реакции происходят в два этапа: сначала мюон, подлетающий к кварку, испускает виртуальный фотон (или Z^0), затем промежуточная частица поглощается кварком из состава нуклона. Мюон, взаимодействуя с кварками, тратит часть своей энергии на рождение адронов.

Направление движения и энергия падающих мюонов (μ^\pm) обычно известны с хорошей точностью, а угол рассеяния и энергии рассеянных мюонов (μ'^\pm) измеряются с помощью экспериментальной установки. Если энергия рассеянного мюона сильно отличается от энергии падающего, то такие реакции называются глубоконеупругими. Остаток энергии уходит на образование адронов. Глубоконеупругими эти реакции называются потому, что в таких случаях мюон проникает не только в ядро, но и в глубь составляющих его нуклонов (протонов и нейтронов) и, взаимодействуя с кварками, из которых они построены, тратит часть своей энергии на рождение адронов.

Реакции с участием элементарных частиц принято изображать с помощью так называемых диаграмм Фейнмана. Согласно общим представлениям о структуре и взаимодействии частиц, кратко изложенным выше, мюоны вступают в электромагнитные и слабые взаимодействия. Существуют определенные правила, по которым можно рассчитать вероятность или сечение данной реакции. Оно пропорционально квадрату амплитуды рассеяния, в которую вносят вклад все возможные с точки зрения законов сохранения диаграммы.

Вернемся к обсуждаемой реакции $\mu^\pm + C \rightarrow \mu'^\pm + \text{адроны}$. Обозначим буквой a амплитуду процесса рассеяния мюона на ядре углерода за счет электромагнитного взаимодействия с обменом одним фотоном, а буквой b амплитуду того же процесса, но происходящего за счет чисто слабого взаимодействия с обменом одним Z -бозоном (предположим пока, что можно пренебречь вкладом других диаграмм). Тогда выражение для сечения реакции будет содержать три члена:

$$\sigma^\pm(\mp 1) \simeq (a \mp b)^2 = a^2 \mp 2ab + b^2.$$

Первый член (a^2) представляет собой вклад от чисто электромагнитных взаимодействий, третий (b^2) — от чисто слабых, а второй член ($\mp 2ab$) — их интерференцию. Чтобы ее наблюдать, необходимо найти способ отделения вклада интерференционного члена от двух других. Как было показано в работах С. М. Бильяного (Объединенный институт ядерных исследований, Дубна), для этого достаточно измерить асимметрию V в сечениях реакций глубоконеупругого рассеяния для μ^+ и μ^- с разной поляризацией. Асимметрия V целиком определяется относительным вкладом двух взаимодействий — b а. В

этом легко убедиться, если проделать несложные алгебраические преобразования над выражением для B , подставив в него $\sigma_{\pm}(\mp 1)$ и имея в виду, что в случае рассеяния отрицательных мюонов перед интерференционным членом берется знак «плюс», в случае положительных мюонов — знак «минус». Такая комбинация заряда и поляризации экспериментально достигается путем соответствующего выбора энергии мюонов и энергии π - и K -мезонов, от распадов которых мюоны и образуются. Кроме того, надо учесть, что членом B^2 можно пренебречь, так как предполагается, что он значительно меньше остальных.

Итак, если вклад от диаграммы, соответствующей слабому взаимодействию, равен нулю (иными словами, в природе нет Z^0 -бозона), то $B=0$ и сечения реакции с участием положительных и отрицательных мюонов должны быть равны. В рамках же стандартной теории можно не только предсказать абсолютное значение асимметрии B , но и определить ее зависимость от кинематических переменных рассеянных мюонов — переданных импульса и энергии (или их отношения), угла рассеяния и др. Никакая другая теория таких однозначных предсказаний сделать не может.

Таким образом, наблюдение интерференции слабых и электромагнитных взаимодействий, иначе говоря, отличной от нуля асимметрии B , совпадении ее по величине и характеру зависимости от кинематических переменных μ' с соответствующими предсказаниями стандартной теории с неопровержимостью могло доказать существование Z^0 .

Расчеты С. М. Биленького для конкретного эксперимента должны быть уточнены. Дело в том, что в обсуждаемую реакцию рассеяния мюонов дают вклад не только диаграммы с обменом одним фотоном или одним Z^0 -бозоном, но и много других диаграмм с участием двух или более виртуальных фотонов. Это очень редкие и специфические процессы, которые, в принципе, тоже могут приводить к отличной от нуля асимметрии B , и их необходимо учитывать, вводя так называемые радиационные поправки⁸. Провел сложные расчеты на ЭВМ, Д. Ю. Бардин (ОИЯИ, Дубна), Н. М. Шумейко (Бе-

лорусский государственный университет им. В. И. Ленина) и О. М. Федоренко (Петрозаводский государственный университет им. О. В. Куусинена) нашли, что эти поправки достигают 40—100 % от эффекта интерференции диаграмм с одним фотоном и одним Z^0 -бозоном. Их экспериментальное обнаружение представляет самостоятельный интерес, так как при расчетах используются современные представления о структуре нуклонов и аппарат квантовой теории поля. Упомянутые авторы получили точные формулы для радиационных поправок, рассмотрев около 50 возможных диаграмм Фейнмана, создали специальные программы для ЭВМ и предложили методику отделения поправок от эффектов интерференции. Согласно этой методике, необходимо было произвести измерения асимметрии B при двух значениях энергии падающих мюонов — 120 и 200 ГэВ. Разная зависимость эффектов от кинематических переменных рассеянных мюонов позволяет отделить их друг от друга.

Эксперимент, о котором идет речь, относится к высшей категории трудности. Вообще, трудность эксперимента определяется, прежде всего, величиной измеряемого эффекта. В данном случае ожидаемый эффект асимметрии очень мал. Он составляет величину порядка 1 % и «замаскирован» радиационными поправками, которые его уменьшают. Трудности усугублялись еще и тем, что сами σ_{\pm} , входящие в выражение для B , очень маленькие величины. Например, если на пути мюонов поставить углеродную мишень толщиной 1 м, то из 1 млрд падающих частиц в лучшем случае одна будет рассеиваться в этой мишени. А зарегистрировать таких рассеяний надо было несколько миллионов. Таким образом, для успешного завершения эксперимента требовались огромные потоки падающих частиц, толстая мишень и сложная экспериментальная установка.

ТОРОИДАЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР

Экспериментальная установка для исследования глубоко неупругих взаимодействий мюонов была создана в 1976—1978 гг. в результате сотрудничества исследователей из Болонского университета (Италия), ЦЕРНа, ОИЯИ (Дубна), Мюнхенского университета (ФРГ) и Центра ядерных исследований в Сакле (Франция). Сокращенно сам эксперимент и установку называют по

⁸ О радиационных поправках в теории электрослабых взаимодействий см. публикации, указанные в списке.

первым буквам соответствующих городов и научных центров — БЦДМС.

Установка представляет собой 50-метровый цилиндрический магнит-спектрометр, заполненный детекторами для регистрации рассеянных мюонов. В центральной отверствии цилиндра установлена труба, внутри которой расположены мишени из углерода, а по поверхности течет ток, создающий в железном ярме сильное магнитное поле. В отличие от традиционной схемы построения экспериментальных установок, когда в пучок падающих час-

трубы магнитное поле будет иметь направление на читателя, а в нижней — от него. Железное ярмо, окружающее трубу с током, значительно усиливает напряженность поля и его отклоняющую силу.

2. На проводник с током, помещенный в магнитное поле (а следовательно, на заряженные частицы, которые, собственно, и образуют ток), действует сила, направление которой связано с направлениями движения и магнитного поля правилом левой руки: если вектор напряженности поля входит в ладонь левой руки, а паль-

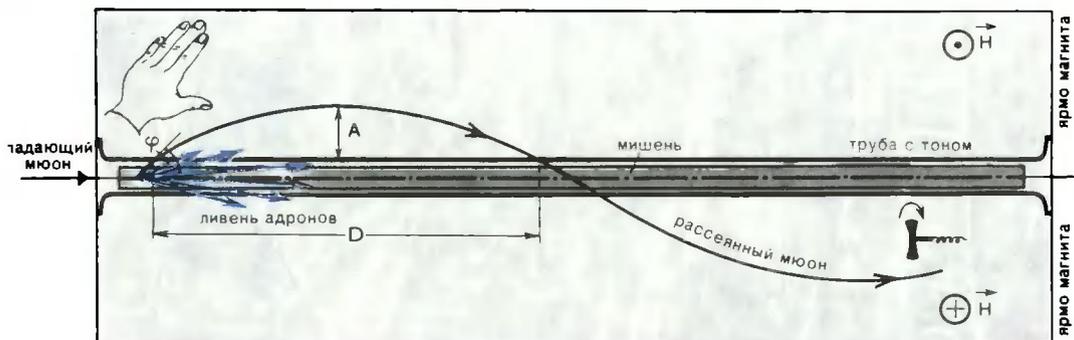


Иллюстрация принципа работы тороидального спектрометра БЦДМС. Направление магнитного поля H вокруг проводника с током определяется по правилу буравчика: в верхней полуплоскости оно направлено на читателя, в нижней — от него. Правило левой руки определяет направление отклоняющей силы, действующей на положительно заряженную частицу в магнитном поле. Любой рассеянный мюон, влетевший в ярмо магнита, движется в нем по периодической траектории. Ее параметры — амплитуда A и длина полуволины D — зависят только от угла φ и импульса рассеянного мюона.

тиц ставится сравнительно тонкая, «точечная», мишень, а уже за ней располагаются магнит и детекторы для определения кинематических характеристик вторичных частиц, в основу данного спектрометра положен совершенно новый подход к распределению мишеней и детекторов.

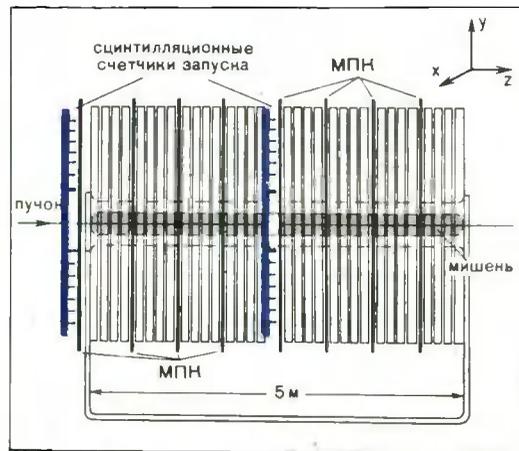
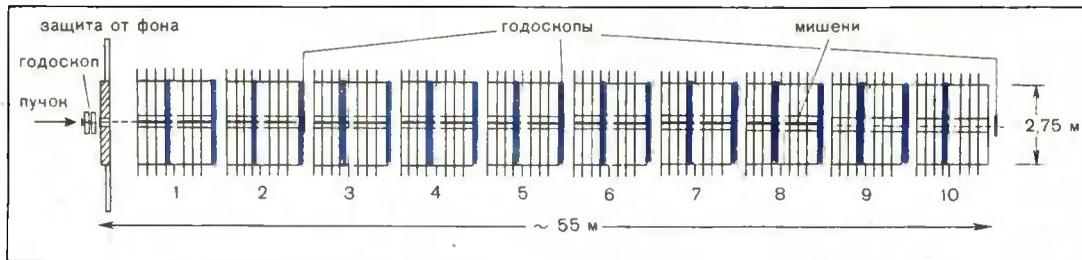
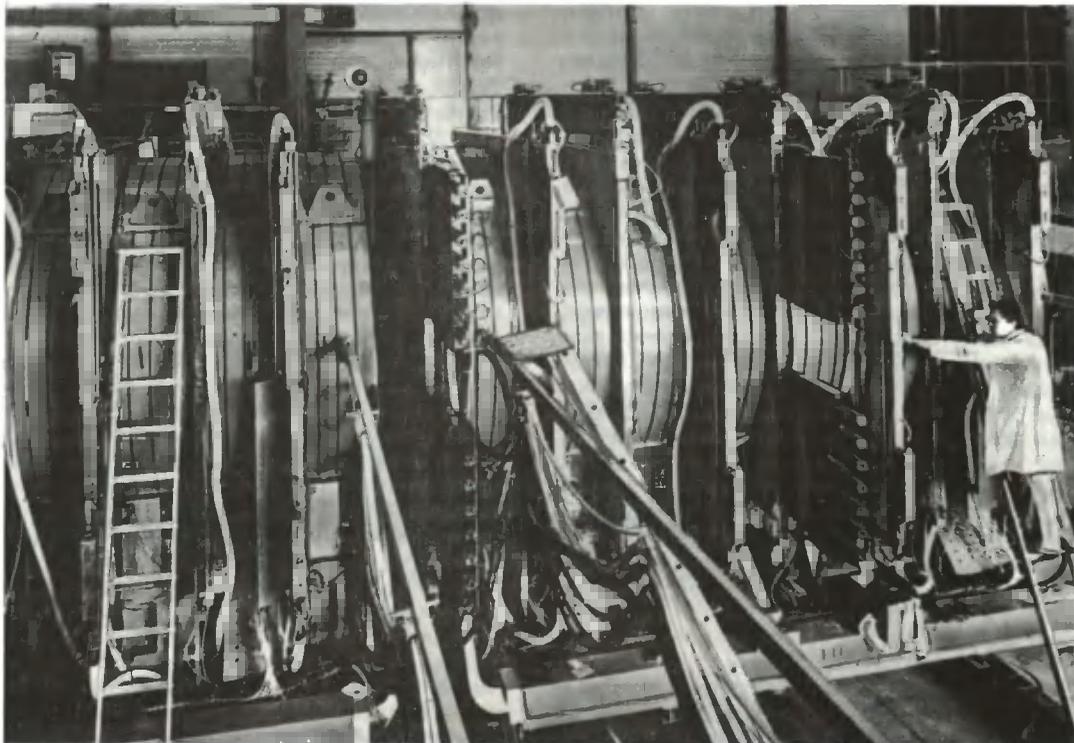
Используются факты, известные из школьного курса физики:

1. Вокруг проводника с током существует магнитное поле, силовые линии которого образуют окружности (тороидальное поле). Вектор напряженности этого поля направлен по касательной к окружности в ту сторону, куда движется ручка буравчика, если его винт вкручивается по направлению тока. Представим себе, что ток течет по трубе слева направо. Тогда в верхней полуплоскости вертикального сечения

цы расположены по движению тока в проводнике (по направлению движения положительно заряженной частицы), то сила действует вдоль отставленного большого пальца.

Теперь понятно, что если в некоторой точке мишени произошла изучаемая реакция и рассеянный положительный мюон влетел в ярмо магнита, то на него будет действовать сила, отклоняющая его к оси магнита. Если величина поля и размеры магнита выбраны достаточно большими, то рассеянный мюон будет в конце концов повернут обратно. Он пересечет ось спектрометра и снова войдет в ярмо, где встретит противоположно направленное поле, отклоняющее его в другую сторону. Без учета потерь энергии при прохождении мюона через железо такое движение будет повторяться периодически. Как показывают расчеты, параметры траектории — амплитуда и длина полуволины — определяются только импульсом и углом вылета рассеянного мюона. Причем, если диаметр ярма приблизительно равен 3 м , то любой из рассеянных мюонов, сколь ни велика была бы его энергия, будет двигаться внутри магнита, не вылетая за его пределы.

Все направления и параметры траекторий, указанные выше, соответствуют движению положительных мюонов. Если по-



Фрагмент спектрометра БЦДМС.

Полная схема спектрометра БЦДМС: он состоит из десяти идентичных магнитов-супермодулей (1—10). Внутри супермодулей расположена углеродная мишень, кроме того, они снабжены многопроволочными пропорциональными камерами (МПК), счетчиками запуска. В состав спектрометра входят также 4 пучковые годоскопы. Полный вес установки около 2000 т.

Схема супермодуля спектрометра БЦДМС. Основная часть супермодуля — ярмо магнита, сделанное из стальных дисков. Диски как бы «наизаны» на трубу, внутри которой расположены обмотки магнита, создающие поле нужной конфигурации, и мишень. Диски собраны в пакеты-модули по 4 штуки в каждом, между модулями расположены многопроволочные пропорциональные камеры (МПК). Камеры с горизонтальными проволоками определяют координату y проходящего через них мюона, а камеры с вертикальными проволочками — координату x . Кольцевые сцинтилляционные счетчики используются для запуска спектрометра.

менять направление тока в трубе, сохранив при этом ток по абсолютной величине, то точно по таким же траекториям будут двигаться и рассеянные отрицательные мюоны.

Спектрометр, построенный на этих принципах, обладает уникальными качествами для исследования глубоконеупругих процессов:

1. Все мюоны, рассеянные на угол, больший некоторого значения (определяемого размерами трубы с током), остаются внутри ярама магнита, обеспечивая тем самым 100 % эффективность их регистрации.

2. Параметры траекторий движения рассеянных мюонов не зависят от точки рассеяния и от энергии падающих мюонов, что позволяет использовать установку, длина и объем которой ограничены только соображениями ее стоимости.

3. Азимутальная симметрия установки существенно снижает ее чувствительность ко всякого рода изменениям и неоднородностям падающего пучка.

Спектрометр БЦДМС состоит из десяти идентичных единиц — супермодулей длиной около 5 м каждый. Основная часть супермодуля — ядро магнита. Оно сделано из низкоуглеродистой листовой стали, изготовленной на заводе Азовсталь в г. Жданове. Из листов проката длиной 6 м и шириной 3 м в Дубне на Опытном производстве ОИЯИ вырезались диски диаметром 2,75 м и толщиной 11 см. Диски собирались в пакеты-модули по 4 штуки в каждом. Модули имели специальные подставки для крепления и захвата при монтаже. Вес модуля — более 20 т. Потребовалось 40 железнодорожных платформ, чтобы все 80 модулей отправить в Женеву, где они были смонтированы на специальных платформах, передвигающихся перпендикулярно направлению пучка частиц.

Чтобы восстановить траекторию рассеянного мюона и определить его кинематические характеристики, между модулями ярама магнита расположены многопроволочные пропорциональные камеры (МПК), регистрирующие горизонтальную (x) или вертикальную (y) проекции траектории мюона в данном месте.

МПК — широко применяемые в современной экспериментальной физике приборы для определения координат заряженных частиц в пространстве⁹. Принцип работы их очень прост. Представим себе объем газа, ограниченный двумя заземленными плоскостями, расположенными на

расстоянии нескольких сантиметров друг от друга. Между ними посередине устанавливается еще одна плоскость — рама с натянутыми проволоками. На проволоки подается высокое напряжение. Заземленные плоскости устанавливаются приблизительно перпендикулярно направлению движения частиц. Заряженные частицы, проходя через объем газа, ионизируют газ, в результате чего на пути частицы образуется цепочка выбитых из атомных оболочек электронов и положительно заряженных ионов. Под действием напряжения электроны собираются на ближайшей к траектории частицы проволочке. Этот момент регистрируется электронными устройствами. Таким образом, мы можем узнать место прохождения частицы с точностью до половины расстояния между соседними проволочками. Для многих практически интересных случаев достаточно, чтобы этот шаг был равен 1—2 мм.

В нашем эксперименте плоскости МПК имеют размер 3×3 м. (Из конструктивных соображений они разделены пополам: $1,5 \times 3$ м.) Заземляемые плоскости изготовлены из специального очень легкого, но прочного сотового материала, покрытого проводящей краской. Вдоль большей стороны плоскости через каждые 2 мм натянуты 750 проволочек диаметром 20 мкм. В готовом виде камеры представляют собой очень изящные физические приборы, требующие, однако, исключительно деликатного обращения.

Чертежи и технология изготовления камер, применяемых в эксперименте БЦДМС, разработаны специалистами ОИЯИ под руководством И. А. Голутвина. 80 таких камер (половина общего числа) были изготовлены в Дубне, другая половина — в Сакле. Доставка камер из Дубны в Женеву требовала особых предосторожностей. Она была осуществлена с помощью грузового самолета ИЛ-76, где можно поддерживать во время полета комнатную температуру и нормальное давление, чтобы не повредить крышки камер и проволоки.

После того как камеры были вставлены в магнит, весь его объем оказался разделенным на 56 000 полосок шириной по 2 мм и с помощью ЭВМ стал «видимым» для экспериментаторов.

⁹ О принципе действия МПК см. также: Хабхашев А. Г. Многоканальные детекторы рентгеновского излучения. — Природа, 1980, № 1, с. 30.

К числу основных детекторов спектрометра относятся также сцинтилляционные счетчики системы запуска установки. Рабочим веществом счетчика служит жидкий сцинтиллятор, атомы которого возбуждаются при прохождении через него заряженной частицы. Возвращаясь в исходное состояние, возбужденные атомы испускают свет, улавливаемый фотоумножителями, которые преобразуют его в электронные сигналы. Сцинтилляционные счетчики хороши тем, что момент прохождения через них заряженной частицы (в нашем случае — рассеянного мюона) может быть определен с точностью, лучшей чем одна миллиардная доля секунды. Конструктивно счетчики выполнены в виде 7 концентрических полуколец. Каждое полукольцо «просматривается» двумя фотоумножителями, по среднему времени прихода сигнала с которых точно определяется момент прохождения частицы в любом месте счетчика. В составе супермодуля имеются 2 плоскости счетчиков, а всего их в спектрометре 20 и снабжены они 560 фотоумножителями.

Если рассеянный мюон прошел как минимум через 4 стоящие подряд плоскости сцинтилляционных счетчиков (т. е. через 11 м железа) и их сигналы по времени «рассогласованы» не более чем на 10 миллиардных долей секунды, то выработывается сигнал, разрешающий запуск МПК и регистрацию координат прошедших через них частиц.

В состав спектрометра входят еще два важных элемента — пучковые годоскопы и сцинтилляционные счетчики защиты установки от фоновых частиц, сопровождающих основной пучок.

Пучковый годоскоп представляет собой мозаичную структуру, составленную из 72 трапециевидных пластических сцинтилляторов, перекрывающих всю область пучка падающих мюонов. Сигналы с элементов годоскопов регистрируются фотоумножителями (в общей сложности их в годоскопах 288) и используются в системе запуска установки. Суммарный отсчет первого годоскопа определяет значение потока частиц, падающих на мишень. Положение сработавшего годоскопа определяет также координату падающего мюона.

Сорок восемь счетчиков защиты от фона образуют своеобразную стену размером 4×4 м, надежно защищающую установку от проникновения «нежелательных» частиц. Если одновременно с появлением сигнала от рассеянного мюона

зарегистрирован сигнал от этих счетчиков, запуск установки не разрешается.

Большое количество разнообразных детекторов, обслуживающей электроники, вспомогательного оборудования и огромный поток информации могут приниматься и контролироваться только с помощью мощных ЭВМ. Эти же ЭВМ полностью реконструируют часть зарегистрированных событий, «показывают» их на экране дисплея и выдают физические характеристики событий, что совершенно необходимо для надежного контроля за ходом эксперимента.

При измерениях асимметрии В важно обеспечить не только стабильность данных во время их набора, но также отсутствие неконтролируемых различий в аппаратуре, создающих искусственную асимметрию. Необходимо было продумать и осуществить целую систему мер, минимизирующих аппаратурную асимметрию: обеспечить, в первую очередь, равенство энергий (с точностью до долей процента) падающих положительных и отрицательных мюонов, поддерживать равную интенсивность пучков, следить за тем, чтобы не менялось среднее значение магнитного поля и т. д. Для усреднения неконтролируемой аппаратурной асимметрии приходилось также часто менять «плюс» и «минус» режимы работы установки.

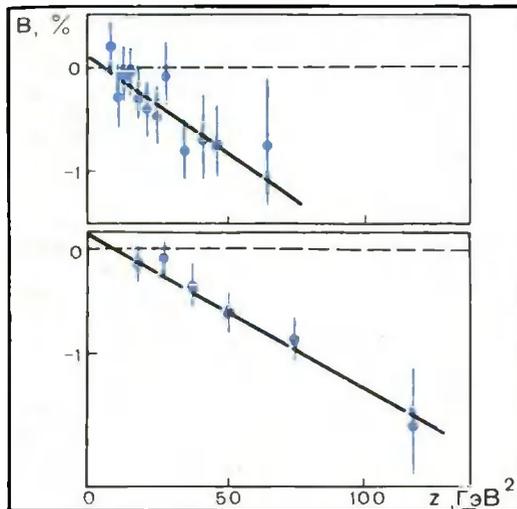
НЕЙТРАЛЬНЫЙ ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ БОЗОН СУЩЕСТВУЕТ И ИНТЕРФЕРИРУЕТ С ФОТОНОМ

Железнодорожный состав из сорока платформ с модулями сердечника, пересекающий половину Европы, два самолета ИЛ-76, доставивших в Женеву камеры, полный вес установки — 2000 т (!), два мощных компьютера, современная электроника и детекторы, уникальный канал падающих мюонов (который заслуживает специального обсуждения) и, наконец, полная стоимость установки, оцениваемая в 20 млн швейцарских франков, — все это говорит о размахе и трудности эксперимента. К этому следует добавить, что, несмотря на всю мощь аппаратуры, для набора данных потребовалось около 100 суток ее непрерывной работы при величайшем напряжении сил всего коллектива экспериментаторов. В интернациональной группе, состоявшей из 50 человек, приходилось объясняться на нескольких языках, однако работа шла слаженно, в обстановке полного взаимопонимания.

Когда через установку пролетел пос-

ледный мюон, в хранилищах стояло больше 1000 бобин магнитных лент — 3000 км записанной информации. Ее вновь предостало «прокрутить» на ЭВМ и тщательно проанализировать каждое из нескольких миллионов зарегистрированных событий.

Изучаемые реакции глубоконеупругого рассеяния мюонов на ядрах углерода имеют ряд характерных признаков, используемых для их поиска среди множества других событий (в основном, фоновых), зарегистрированных установкой.



Результаты измерения асимметрии V , возникающей вследствие интерференции слабых и электромагнитных взаимодействий мюонов с ядрами углерода при энергиях 120 ГэВ (а в е р х) и 200 ГэВ (а н и з). Символами показаны экспериментальные значения V ; вертикальными линиями — возможные ошибки измерений. Сплошные линии — результат аппроксимации всей совокупности измерений прямолинейной зависимостью $V = -kz$, где z — кинематическая переменная, пропорциональная квадрату переданного импульса. Наклон прямой по предсказаниям стандартной теории должен быть равен $k = 0,15 \cdot 10^{-3}$. В эксперименте оказалось, что эта величина равна $0,147 \cdot 10^{-3}$ с возможной ошибкой не более $0,03 \cdot 10^{-3}$. Подобное же согласие с теорией наблюдается и в тех случаях, когда за кинематическую переменную берется угол рассеяния, энергия рассеянного мюона, относительная энергия адронного явля и т. п. Пунктирная линия соответствует значению $V = 0$, иными словами, отсутствию эффекта интерференции.

Укажем два таких признака:

1. Вблизи точки взаимодействия должен быть ливень адронов, следы которого проявляются в близлежащих детекторах.
2. Адроны — сильновзаимодействующие частицы, поэтому, проходя через ве-

щество мишени и магнита, они быстро теряют энергию и поглощаются в нем. Что касается рассеянного мюона, то он в сильных взаимодействиях не участвует. В результате практически через несколько метров от точки взаимодействия он один и должен «выжить».

Опираясь на эти признаки и используя другие особенности аппаратуры, физики «научили» ЭВМ находить интересные события. Скрупулезный анализ и поиск возможных аппаратурных эффектов, многократно и независимо повторенные группами в Дубне, ЦЕРНе, Болонье и Сакле, показали, что качество данных удовлетворяет требованиям самых придирчивых критиков, не нашедших ложных асимметрий, превышающих уровень в несколько процентов от ожидаемого эффекта. Для того чтобы сделать такой вывод, потребовалось около двух лет не менее напряженного труда, чем при получении данных.

Полный анализ был завершен в конце 1982 г. Искомая асимметрия, а следовательно и интерференция между слабыми и электромагнитными взаимодействиями, была обнаружена как при энергии 120 ГэВ, так и при энергии 200 ГэВ. Измеренный эффект значительно превышает уровень возможных статистических и аппаратурных ошибок, а его зависимость от кинематических переменных полностью соответствует предсказаниям стандартной теории электрослабых взаимодействий.

Таким образом, еще до экспериментального обнаружения промежуточных векторных бозонов был наблюден эффект, за который ответствен один из них — бозон Z^0 . Однако наблюдение интерференции слабых и электромагнитных взаимодействий мюонов, а также наблюдавшаяся почти одновременно подобная интерференция в рождении мюонных пар при взаимодействиях встречных электрон-позитронных пучков имеют существенно большее значение, чем просто доказательство существования Z^0 . Оно демонстрирует тот факт, что слабые и электромагнитные взаимодействия являются различными проявлениями другого, более фундаментального взаимодействия, которое теперь называют электрослабым. Интерференционные эффекты еще больше укрепили фундамент стандартной теории. Следующим шагом стало непосредственное наблюдение Z^0 -бозонов в опытах группы физиков ЦЕРНа во главе с К. Руббиа — соавтором нашего эксперимента.

«СИЛА БИОФИЗИКИ... В ЦЕМЕНТИРОВАНИИ ВОЕДИНО ДРУГИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН»

К 80-летию со дня рождения Г. М. Франка

Имя Глеба Михайловича Франка неразрывно связано с развитием биофизических исследований в нашей стране, формированием советских научных учреждений и организаций биофизического профиля. Научные заслуги и талант организатора сделали Г. М. Франка признанным главой советской биофизики.

Г. М. Франк родился 11(24) мая 1904 г. в Нижнем Новгороде в семье преподавателя математики. Его отец Михаил Людвигович Франк — человек высочайшей интеллигентности — создал в семье атмосферу, которая заложила основу формирования двух крупных ученых. Брат Г. М. Франка Илья Михайлович стал выдающимся советским физиком, академиком, лауреатом Нобелевской премии.

Г. М. Франк закончил естественное отделение Таврического (ныне Крымского) государственного университета в Симферополе. В тот период в этом учебном заведении работали такие ученые, как А. А. Байков, В. И. Вернадский, Б. Д. Греков, А. Г. Гурвич, А. Ф. Иоффе, Н. М. Крылов, В. А. Обручев, В. И. Палладин, А. А. Любищев, И. Е. Тамм, Я. И. Френкель. Такое обилие крупных ученых способствовало раскрытию новых талантов. В 1925 г. Г. М. Франк был приглашен в аспирантуру Московского университета к А. Г. Гурвичу, у которого начал работать еще в Симферополе. Здесь он начинает изучение структурных изменений в мышце при сокращении, увлекается перспективами применения физических методов для исследования биологических процессов. После окончания аспирантуры поступает в Ленинградский физико-технический институт, которым руководил А. Ф. Иоффе, и организует лабораторию биофизики. Работает над проблемой обнаружения и измерения слабых ультрафиолетовых излучений, устанавливает, что митогенетическое излучение — не «мистика» (как думали тогда), а ультрафиолетовое излучение с определенным диапазоном длин волн. Особенно его интересует обнаруженное им явление усиления излучения мышцы в момент сокращения.

В 1933 г. биофизическая лаборатория переводится в только что созданный Всесоюзный институт экспериментальной медицины им. А. М. Горького, и на ее базе организуется отдел биофизики и фотобиологии. В рамках отдела Г. М. Франк ведет работу по созданию новой экспериментальной техники, выяснению механизмов действия ультрафиолетового излучения на

организм. В 30-е годы Г. М. Франк организовал ряд комплексных экспедиций на Эльбрус, проводивших испытания различных материалов в условиях высокогорья, наблюдения космической радиации, изучение биологического действия солнечного излучения, исследования функций нервной системы. Эти и последующие исследования легли в основу рекомендаций для использования ультрафиолетового излучения в медицине. Во время Великой Отечественной войны Г. М. Франком были разработаны и внедрены физиотерапевтические методы лечения.

В 1944 г. Г. М. Франку с соавторами присуждается Государственная премия СССР за разработку, испытание и отыскание новых применений бактерицидных ламп.

В первые послевоенные годы Г. М. Франк организует радиационную лабораторию, а затем на ее основе — Институт биофизики Академии медицинских наук СССР. За работы этого периода ему присуждается вторая Государственная премия СССР.

После смерти академика П. П. Лазарева в 1943 г. Г. М. Франк заведует Лабораторией биофизики биологического отделения АН СССР, которая вошла в состав Института биологической физики АН СССР, организованного в 1952 г. в Москве. С 1957 г. Г. М. Франк его директор. Он инициатор и организатор первого в нашей стране Центра биологических исследований и его директор в 1961—1967 гг.

Г. М. Франк был убежден в том, что без применения физических методов исследования, робототехники и вычислительных машин в биологических исследованиях нельзя ответить как на главный вопрос «Что такое жизнь!», так и на частные вопросы о материальных механизмах тех или иных жизненных явлений. И делал все возможное для развития биофизики, широкого внедрения результатов исследований в практику, организации широкого фронта работ в этой области науки. Институт биофизики АН СССР, который он возглавлял, стимулировал создание кафедр и лабораторий в научных учреждениях и вузах страны, являлся базовым по подготовке биофизиков.

Г. М. Франк много сделал и для координации научных исследований в масштабах страны и социалистического содружества, установления научных контактов с биофизиками всего мира. Он был председателем научного совета по проблемам биофизики АН СССР, инициатором созда-



ГЛЕБ МИХАЙЛОВИЧ ФРАНК
11(24)У 1904 — 10.X 1976.

ния Координационного центра стран-участниц СЭВ по проблемам биофизики, представителем СССР в Совете уполномоченных стран-участниц СЭВ и СФРЮ по проблеме «Исследования в области биологической физики», вице-президентом Совета Международной организации по изучению клетки, членом исполкома Совета Международного союза теоретической и прикладной биофизики, членом ряда других международных научных обществ и организаций.

До последних дней своей жизни Г. М. Франк был главным редактором журнала «Биофизика», членом редколлегии «Природы» (с 1962 г.) и ряда других научных изданий.

Ниже мы публикуем (с небольшими сокращениями) текст доклада академика Г. М. Франка «Некоторые задачи и перспективы развития биофизики», сделанного в мае 1974 г. в Академии наук ГДР в связи с Днями советской науки в ГДР, и статью члена-корреспондента АН СССР, директора Научного центра биологических исследований и Института биофизики АН СССР Г. Р. Иваницкого «Черты научного руководителя». Содержание доклада и сегодня остается чрезвычайно актуальным и дает возможность познакомиться со взглядами Г. М. Франка на место биофизики среди других биологических дисциплин, с перспективами ее развития.

Некоторые задачи и перспективы развития биофизики*

Академик Г. М. Франк

Некоторые задачи и перспективы развития биофизики, мне кажется, целесообразно рассмотреть в трех аспектах. Во-первых, высказать общие соображения о взаимосвязи биологии и физики. Во-вторых, эти общие соображения проиллюстрировать анализом развития конкретной крупной проблемы современной биологии, где роль биофизики, с точки зрения автора, является решающей. В-третьих, на основе первого и второго сделать некоторые выводы, имея в виду, прежде всего, построенные прогнозы в развитии биофизики.

Самое важное — сразу подчеркнуть, что биофизика является биологической наукой. Это может показаться само собой разумеющимся. Однако в этом вопросе имеется иногда трудно уловимая тонкость.

Биофизика как область познания призвана решать именно биологические задачи при помощи имеющихся физических методов, физического анализа явлений и математических приемов.

Необходимо понимать, что еще недостаточно с помощью физического и физико-математического аппарата охарактеризовать явление. Надо стремиться к тому, чтобы сделать, хотя бы и скромный, шаг для объяснения его внутреннего механизма. Особенно это относится к чрезвычайно распространяющемуся теперь и весьма соблазнительному математическому методу моделирования различных звеньев биологических процессов. Иногда, не совсем законно упрощая рассматриваемые процессы, игнорируя множество неизвестных или еще недоступных для измерения параметров, строятся схемы, лишь внешне подобные изучаемому явлению. Такие аналоги ничего не предсказывают экспериментатору и являются тупиковыми.

Вошло в традицию за последние полтора десятка лет, чисто условно, делить биофизику по уровням организации исследуемых процессов на молекулярную био-

физику, биофизику клетки и биофизику сложных явлений, в сущности говоря, межклеточных взаимодействий.

Несомненно то, что явления жизни возникают только в системе, называемой клеткой. Субклеточные частицы, субклеточные органоиды, хоть и способные выполнять некоторые, часто очень сложные биохимические и физиологические функции, в строгом смысле слова еще не могут быть названы живыми. Только автономная саморегулирующаяся и самовоспроизводящаяся система является живой. Не случайно поэтому центр тяжести физико-химического рассмотрения основы жизненных явлений смещается теперь в область биологии клетки. Однако это отнюдь не означает, что молекулярной биофизике отводится лишь вспомогательная роль — изучения физики материала, из которого построена клетка. Вероятно, одной из самых поразительных особенностей строения и функции живого является запрограммирование в относительно простой молекулярной организации сверхсложного строения и функции на всех последующих ступенях живого. Так, например, последовательность аминокислот в первичной структуре полипептидной цепи определяет вторичную, третичную и даже четвертичную структуру. Другими словами, организация этих высших уровней пространственных структур белковой макромолекулы не требует специального программирования, а как бы автоматически задается последовательностью аминокислот, т. е. первичной структурой.

Имеется много веских данных, хотя это и не доказано, что набор ферментных систем определяет видовое различие развивающегося организма. Если это так, живая система не нуждается в ином сверхсложном программировании пространственно-временного распределения клеток в системе, и все четыре координаты являются производной чередования оснований в цепи нуклеиновых кислот.

Все сказанное означает, что построенные биофизики клетки и биофизики слож-

* Франк Г. М. Биофизика живой клетки. (Избр. тр.) М., 1982, с. 48—59.

ных процессов невозможно без использования данных молекулярной биофизики. С другой стороны, проецируя свойства макромолекул на организацию и функцию клетки, мы придаем особое значение некоторым аспектам молекулярно-биофизических исследований. Это отнюдь не означает, что имеет смысл изучать проблемы биофизики клетки только тогда, когда будет создан полностью молекулярно-биофизический фундамент.

Нет необходимости иметь исчерпывающие данные и законченные картины, но следует располагать некоторым минимумом параметров, характеризующих свойства и потенциальные возможности субстрата. Надо уметь перепрыгивать через белые пятна предыдущей стадии исследований.

Это актуально, когда мы переходим к биофизике сложных явлений, в частности к анализу закономерностей внутриклеточных систем, состоящих из большого числа элементов. В самом деле, физические и математические подходы к этой области являются плодотворными, несмотря на то что биофизика клетки находится на ранней стадии своего формирования. Это относится, например, к формированию и распространению возбуждения в системе клеток сердца. Удобной моделью для изучения этого вопроса является однослойная культура клеток сердца, лишенная, как само собой разумеется, каких бы то ни было нервных связей. Для того чтобы оперировать полученными данными, оказываются достаточными только представления о спонтанном возникновении в некоторых клетках состояния возбуждения, о скорости передачи возбуждения и о так называемом рефрактерном периоде. В результате в модельной схеме можно получить равномерное упорядоченное распространение волн возбуждения. Удаётся проследить, как различия в тех или иных упомянутых величинах при определенных условиях могут приводить к дезорганизации. Закономерности проведения настолько нарушаются, что в однослойной культуре клеток возникают явления, которые в сердечной мышце проявляются в виде так называемой фибрилляции. Все это может быть хорошо промоделировано математически, а с помощью ЭВМ можно получить на экране дисплея наглядные картины дезорганизации фронта волн распространения возбуждения. Однако анализ был невозможен из-за сложности явлений.

Разобраться удалось только, когда исходное описание клетки было значи-

тельно упрощено. Здесь успех оказался связан не с получением новых более полных сведений о клетке, а с отказом от анализа многих ее свойств, несущественных для процесса синхронизации сокращения клеток сердечной мышцы. Удаётся проанализировать, в какой мере и как изменяются тех или иных перечисленных выше параметров ведут к той или иной форме нарушений, и предсказать, какие фармакологические воздействия являются целесообразными...

Таким образом, переходя все выше и выше по ступенкам организации сложности объектов и их функций, можно плодотворно развивать исследования, беря с предыдущей ступеньки некоторые, по возможности, конечные выводы. Задача исследований во всех областях организации живого заключается в том, чтобы по мере развития эксперимента и теории выдавать на следующую ступень исследований сведения, все более приближающиеся к решающим для этой более высокой ступеньки параметрам. Без этого всякое, даже самое остроумное построение останется умозрительным.

Теперь хотелось бы высказать наиболее сложное, а для некоторых, может быть, и странное соображение. Оно представляет развитие нашего тезиса о том, что биофизика прежде всего является по своим задачам разделом биологии. Это означает, что биофизика нужна по той простой причине, что без нее нельзя ответить как на главный вопрос «Что такое жизнь?», так и на частные вопросы о внутренних — материальных — механизмах тех или иных жизненных явлений. Если бы не было биофизики, то комплекс основных биологических дисциплин, которыми автор в первую очередь считает морфологию, физиологию и биохимию, должен был бы взять на себя выполнение биофизических задач или «выдумать» биофизику. Суть дела заключается в том, что биофизика заполняет брешь в фронте биологических дисциплин. Используя чисто словесную аналогию с техническим процессом, можно утверждать, что наличие биофизики обеспечивает «замкнутый цикл» исследований.

Не подлежит сомнению, что любые проявления жизни и живые организмы в целом в конечном итоге — «химические машины». Однако, несмотря на примат хи-

¹ Более подробно об этом см.: Иваницкий Г. Р. Стратегия научного поиска. — Природа, 1981, № 6, с. 8.

мии, химический язык и химические концепции недостаточны, чтобы раскрыть материальную сущность явлений жизни. Это, в первую очередь, относится к путям превращения энергии, природе сил взаимодействия и разнообразным химическим процессам, таким, например, как генерация электрических потенциалов, возникновение механической энергии, механизмы управления и регуляции.

Нужно быть справедливым и признать, что одновременно с заполнением биофизикой фронта непрерывности биологических дисциплин упоминавшиеся мною морфология, физиология и биохимия меняют свое лицо. Электронно-микроскопический уровень исследования заставляет морфолога частично переходить на физико-химический язык. Физиологи, исследуя взаимосвязь явлений, стремятся проводить кибернетический анализ и осуществлять математические обобщения наблюдаемых явлений. Наибольшие изменения претерпевает современная биохимия. Здесь наиболее характерны два процесса. Во-первых, идет привязка определенных звеньев обмена к микроструктурам живого. Второй особенностью, непосредственно вытекающей из первой, является значительный переход современной биохимии на физические рельсы. На этом пути, в некоторых случаях, переходы от биохимии к биофизике становятся почти неразличимыми и условными.

Речь идет не только об использовании физических методов для решения биохимических вопросов, но и о трактовке и теоретическом анализе получаемых результатов и математических обобщениях, требующих компетенции физика. Можно в качестве примера вспомнить использование электронного и ядерного парамагнитного резонанса.

С другой стороны, некоторые проблемы, отчетливо относимые по нелишенной условности систематике наук к биофизике, не могут быть решены без соответствующего биохимического фундамента. Автор уже ранее высказывал соображение по поводу того, что бессмысленно проводить непроницаемую границу между этими двумя науками. Если изображать их соотношение графически, то правильнее было бы нанести кривые распределения компетенции с максимумами, сдвинутыми один по отношению к другому и перекрывающимися своими плечами.

Высказанные общие положения, мне кажется, могут быть проиллюстрированы рассмотрением конкретной проблемы мы-

шечного сокращения, где велик удельный вес биофизических подходов и трактовок. Я не имею возможности говорить об этой проблеме здесь подробно. Схематически скажу: для того чтобы продвинуться в ее понимании, необходимо решение трех ключевых задач, в значительной мере биофизических. Первая — каковы структурные превращения на всех уровнях организации мышечной ткани. Вторая — каковы пути энергетических превращений, т. е. перехода энергии химических связей в механическую энергию. И третья — как осуществляется регуляция этих процессов. Я опускаю историю вопроса, в частности многие выдающиеся открытия в этой области, и позволю себе только поделить некоторые из данными, полученными в нашей лаборатории, и высказать ряд соображений.

Во-первых, структура. Мы знаем, что материал мышцы состоит из двух главных белков: актина и миозина. Фибриллярный актин, составляющий тонкие нити, очень устойчив. Нагревание мышцы до 42° в течение нескольких минут полностью уничтожает рефлекс миозина при рентгеноструктурном исследовании. Рефлексы актина при этом остаются неизменными. С другой стороны, структурные переходы в препаратах миозина можно наблюдать и непосредственно. В нашей лаборатории электронно-микроскопически показан полиморфизм паракристаллов легкого меромиозина при ионной силе раствора, близкой к физиологической. Переход от одного периода идентичности к другому совершается так легко, что часто на одном и том же паракристалле легкого меромиозина удается наблюдать правильную упаковку с различными периодами. Детальный анализ периодических картин в паракристаллах показывает, что такая переупаковка может происходить при взаимном сдвиге входящих в паракристалл субъединиц. Необходимо отметить, что сказанное о лабильности структуры относится к легкому меромиозину, из которого построены стволы миозиновых нитей, как будто не меняющих своей длины в процессе сокращения, как это требует общепринятая схема скольжения. Является ли действительно это требование жестким?

В Институте биологической физики АН СССР было показано, что иначе ведет себя структура предварительно денервированной мышцы. В этом случае при ацетилюлиновой контрактуре можно зафиксировать уменьшение длины анизотропных дисков, т. е. подлинное укорочение миозиновых нитей. За последние годы число

таких примеров накапливается. Особенно это относится к некоторым мышцам беспозвоночных. В нашей лаборатории мы исследовали сокращение мышц рачка баянуса. Укорочение анизотропного диска, т. е. миозиновых протофибрилл, входит в нормальный рабочий цикл мышцы. Это отчетливо видно при микрокиносъемке.

В *m. sartorius* лягушки — классическом объекте, для которого неоднократно подтверждалась нерушимость схемы скольжения, среди обычных волокон имеются также поперечнополосатые, сокращающиеся немного медленнее прочих. Они называются тоническими. На этих волокнах при электрическом раздражении удалось зафиксировать при электронно-микроскопических исследованиях картины укорочения всего анизотропного диска, т. е. миозиновых протофибрилл. Одновременно с этим протофибриллы становятся толще. На поперечном срезе в этих случаях число субъединиц в протофибриллах увеличивается от 6 до 9—10.

Как геометрически можно трактовать происходящие изменения структуры? Фибриллы становятся толще, и число субъединиц увеличивается, очевидно, в результате того, что субъединицы смещаются друг относительно друга к центру саркомера. Таким образом, нами выдвигается гипотеза смещения субъединиц для объяснения истинного сокращения анизотропного диска.

Все сказанное относится не к типичному, а медленному сокращению. Однако в течение последних лет мы развивали метод дифракции видимого света для изучения быстропотекающих изменений структуры поперечной полосатости мышцы. Удалось практически безынерционно для одиночного мышечного волокна не только зарегистрировать степень сокращения саркомеров по расстоянию между максимумами дифракции, но и решить сложную задачу по фиксации изменений структуры решетки, т. е. соотношения анизотропного и изотропного дисков. Это решается путем регистрации изменений интенсивности спектров дифракции разного порядка. После этого фурье-анализ полученных данных, в какой-то мере напоминающий анализ рентгенограмм, дает требуемый ответ. Этим методом удается регистрировать и вычислять изменение соотношения длин анизотропного и изотропного дисков мышцы для интервалов времени около 1 мс и расшифровать поведение поперечной полосатости для всех стадий одиночного сокращения изолированного мышечного волокна. Здесь мы имеем дело с быстро работающим жи-

вым одиночным волокном. Наиболее ясная картина зарегистрирована при изометрическом сокращении. Напомним, что изометрия является истинной для оптически исследуемого участка мышечного волокна, так как одновременно по расстояниям между максимумами дифракции контролируется постоянная решетка. В этом случае по мере развития напряжения укорачиваются анизотропные диски.

Не подлежит сомнению, что процесс скольжения двух типов мышечных протофибрилл в действительности имеет место. Согласно этой схеме движутся системы двух жестких микропалочек, а центр тяжести перемещающего их механизма переносится на так называемые мостики, замыкающиеся между ними. Такой перенос основного кинетического механизма только на мостики, составляющие лишь 7 % мышечного субстрата, казался мне мало убедительным. В начале рассуждения были чисто логические: зачем природе было строить мышечный субстрат из такого структурно-лабильного материала? Возникло предположение, что укорочение толстых протофибрилл является быстро проходящим состоянием. Его не всегда успевает охватить фиксатор.

Все это в целом позволяет выдвинуть гипотезу, что кратковременные и обратимые укорочения толстых протофибрилл могут принимать участие в подтягивании тонких протофибрилл в промежутки между толстыми. Все сказанное, само собой разумеется, ни в коей мере не претендует на решение вопроса, а лишь указывает возможные пути его решения.

В связи с проблемой регуляции мне хочется высказать лишь одно соображение. Хорошо известна роль недавно открытых так называемых регуляторных белков, являющихся звеном пускового механизма в ответ на повышение концентрации кальция. Одновременно с этим необходимо подумать о дополнительной роли явления скольжения. Может быть, тем и объясняется высокий КПД и синхронизация функционирующего большого числа фибрилл, что выдвигающиеся актиновые нити сразу и вдруг блокируют их поверхности, обеспечивая обратимость процесса и поворот всего механо-химического комплекса к фазе расслабления.

Подводя некоторые итоги сказанному, первое, что хотелось бы подчеркнуть, это не только плодотворность, но и неизбежную необходимость физических подходов к изучению крупного биологического вопроса, в данном случае мышеч-

ного сокращения. В самом деле, все данные об исполнительном структурном механизме выходят за пределы химической постановки вопроса. Это, фигурально выражаясь, надхимические превращения. Только имея более исчерпывающие сведения о структурных процессах, начиная от молекулярных превращений и кончая микроскопическими, можно правильно поставить задачу при изучении энергетики, перейдя затем и к регуляторным вопросам.

Одновременно с этим, второе обстоятельство, на которое хотелось бы обратить внимание,— это непрерывность линии исследования от раздела, который мы обозначили как «молекулярная биофизика», далее через биофизику клетки к биофизике сложных процессов. В самом деле, механизм сокращения мышцы не может быть понят без анализа молекулярных превращений, проектирующихся дальше на события, совершающиеся в мышечном волокне, и последующего шага к сложной системе, например скелетной или сердечной мышце. На всех ступенях этой лестницы, в том построении исследований, о котором я говорил, решающее значение имеет исследование физических свойств и физических процессов.

В-третьих, в рассмотрении механизмов мышечного сокращения мы находим также подтверждение сказанному вначале о заложенных в простейших формах организации свойств, необходимых для функционирования более сложных систем. Так, физико-химические особенности материала, т. е. мышечных белков, определяют свойства сократимости системы построенных из них фибриллярных мышечных структур. Это соображение укрепляет точку зрения на функционально-структурную непрерывность «лестницы» усложняющихся систем.

Все сказанное не должно быть понято как отрицание плодотворности и необходимости математического моделирования мышечного сокращения. Однако, до тех пор пока не будут достаточно определены решающие параметры структурных превращений на разных уровнях организации и основные энергетические механизмы, природа сил, возникающих в структуре мышцы, такое моделирование будет грешить абстрактностью. В самом деле, кинетика замыкания мостиков будет описываться различно, идет ли речь об их замыкании на жестких и тонких палочках или в результате конформационных изменений в них и истинного обратимого укорочения. Всячески поддерживая целый ряд ис-

следований, выполненных в этой области, я все же хотел бы призвать к некоторой осторожности в увлечении такими построениями до получения новых количественных данных...

Физические аспекты, идет ли речь о структуре и структурных процессах, о превращениях энергии или о регуляции, вписываются в единый фронт морфологии, физиологии, биохимии. Без биофизики не могут быть поняты скрытые механизмы материальной сущности явлений, в данном случае мышечного сокращения. В то же время искусственное отделение только физических аспектов проблемы, без достаточных данных морфологии, физиологии и биохимии, было бы бесперспективной абстракцией. Вся сила биофизики заключается именно в цементировании воедино других биологических дисциплин, подымая этим на качественно иной уровень современный анализ механизмов жизненных явлений.

Знаменем времени является и возникновение новой крупной области биологии, которая отметила свое победное развитие выдающимися достижениями. Это молекулярная биология. Эта область характерна не столько специфическими подходами к проблеме и некоторым синтезом физики и химии в рассмотрении молекулярных аспектов жизни, сколько избранными проблемами и объектами. Речь идет, в первую очередь, об одном из основных проявлений жизни — программировании, т. е. регуляции синтеза клеткой системы белковых молекул. Однако это уже другая тема.

Говоря о будущем развитии биофизики, хотелось бы упомянуть технику эксперимента. Два характерных принципа в технике эксперимента имеют наибольшее значение для ближайшего будущего. Первое — это прижизненность наблюдения явлений. Второе — машинная обработка получаемой информации, что важно для изучения быстропротекающих процессов и особенно для одновременной регистрации множества разнообразных процессов.

Я уже коснулся этого вопроса, излагая проблему мышечного сокращения. И рентгеноструктурный анализ, и электронная микроскопия, не говоря о многочисленных физико-химических и биохимических методах, слишком инерционны, не успевают за совершающимися процессами, а самое главное — представляют собой слишком грубое вмешательство в явление, нарушая или даже разрушая изучаемый субстрат. Отсюда так много только косвенных данных и так много при ав-

лений о протекающих процессах, логически реконструированных по этапам отдельных стадий или собранных из «обломков».

Как я уже говорил, нам удалось зарегистрировать изменение структуры поперечной полосатости, используя быстродействующую автоматическую оптико-электронную схему. В настоящий момент можно прогнозировать с почти 100 %-ной вероятностью, что будет использован малоинерционный метод рентгеноструктурного анализа. Это даст возможность непосредственно следить за молекулярными и межмолекулярными структурными изменениями, совершающимися за доли секунды в процессе одиночного мышечного сокращения, что может иметь решающее значение для раскрытия механизма сокращения мышц. Это будет обеспечено увеличением интенсивности пучка рентгеновских лучей на несколько порядков, что в настоящее время достижимо благодаря использованию на ускорителях магнитно-тормозного излучения...

Мышечное сокращение — только частный вопрос принципиально новой области — изучения структурной кинетики. Развитие этой области окажется необходимым для решения многочисленных проблем биологии, начиная от ферментативного катализа, функции мембран и кончая работой митохондриального и фотосинтезирующего аппаратов.

Прижизненность, безынерционность регистрации и машинная обработка информации далеко не ограничивается исследованием структурных процессов. Весь этот комплекс подходов уже нашел применение при многоэлектродной (сто и больше) регистрации энцефалограмм, а также новых приемах электрокардиографии. Несомненно, в ближайшее время будут сделаны большие успехи в оптическом, в частности микроспектральном и микрофлуоресцентном, методе анализа быстропотекающих, множества параллельно идущих химических превращений.

Должно быть ясно, что все сказанное имеет первостепенное значение для практики приложения биологии во всех областях сельского хозяйства, медицины и пищевой промышленности. Наряду с решением принципиальных вопросов, связанных с выяснением механизмов жизненных явлений, таких как принцип действия уникального двигателя — мышцы, патологии, в частности превращения нормальной клетки в раковую, роста, развития организма, селекции и выведения новых сортов сельскохозяйственных растений и животных,

рождаются многочисленные, невиданные ранее технические приемы диагностики, экспресс-анализа в самых разных областях практики.

Нам удалось создать быстродействующие электронно-оптические автоматы для точной регистрации хромосомного набора (кариотипа) человека, животных и растений. Хорошо известно, сколько сил и времени тратится на стандартные подсчеты и измерения деталей микроскопических картин, начиная от клеток крови и кончая структурными характеристиками клеточных систем в тканях мозга. В последнее время мы много занимались автоматикой микроскопических исследований в различных областях. У меня нет возможности на этом останавливаться. Укажу только, что это отнюдь не является простым техническим приемом. Здесь осуществляется объединение знания цитологии с математическим обеспечением и приемами электроники. Все это превращается в самостоятельную проблему. Разработка этой области и создание соответствующей аппаратуры найдут применение в диагностике и исследовании множества наследственных заболеваний и наследственных отклонений от нормы, которых описано более двухсот² у человека. Кто знает, может быть в будущем понадобится поголовная «хромосомная диспансеризация». То же можно сказать и в отношении селекции и выведения готовых сортов.

В виде заключения — одно соображение, которое относится к будущему развитию биологической науки. Это соображение не претендует на объективность.

Два процесса характерны для нашего времени: чрезвычайная специализация и все большее и большее привлечение частных приемов — и теоретических, и экспериментальных из других областей науки при решении любой задачи.

С другой стороны, идет интеграция, все больше стираются грани между различными биологическими дисциплинами. Возможно, в будущем исчезнет деление на морфологию, биохимию и т. д., останутся только крупные задачи, решение которых с помощью арсенала всех биологических наук станет само собой разумеющимся. Надо использовать все имеющиеся возможности и отчетливо понимать, что деление на разделы по специальности становится все более и более условным.

² Сегодня известно более 1000 таких заболеваний. (Прим. ред.).

Черты научного руководителя

Г. Р. Иваницкий,
член-корреспондент АН СССР

Для молодого специалиста «попасть в руки» большого ученого-педагога — огромное счастье. Так случилось со мной, поэтому я с особой благодарностью вспоминаю Глеба Михайловича Франка, под руководством которого начал путь в науке. Вплоть до кончины Глеба Михайловича его живой ум, высокая активность, увлеченность научными проблемами сопровождали всех тех, кому пришлось работать рядом с ним.

Обаятельный, остроумный человек, великолепный оратор, Глеб Михайлович исходил из того, что в науке нельзя действовать директивно, нужно агитировать. И не прибегая к принуждению, не придерживаясь жесткого распределения «ролей» в научном коллективе, он агитировал за новые методы, новые направления. Собирал молодежь и говорил порою о фантастических задачах (которые, тем не менее, имели решение); не навязывал темы, а лишь подсказывал их, хорошо понимая, что работа над собственной темой всегда повышает продуктивность исследователя.

Главной его чертой, на мой взгляд, был динамизм. После смерти Г. М. Франка скульптор О. Н. Рыженцев собрал два десятка фотографий, чтобы сделать бюст, и жаловался, что никак не может «схватить» образ Глеба Михайловича — на всех фотографиях он был разным. Таким же подвижным Г. М. Франк был и в научных интересах. Как только становился известен какой-либо новый физический эффект, Глеб Михайлович стремился сразу определить, какое место он может занять в биологии, что может дать для понимания живого. В отделе биофизики и фотобиологии Всесоюзного института экспериментальной медицины им. А. М. Горького, которым руководил Г. М. Франк, в 1939 г. заработали первый в СССР электронный микроскоп и первая советская установка для рентгеновского анализа биологических объектов. Г. М. Франк выступил инициатором использования явления искусственной радиоактивности в биологии. 26 ноября 1940 г.

на Всесоюзном совещании по вопросам физики атомного ядра, в работе которого приняли участие все ведущие физики нашей страны, в большом докладе Г. М. Франк обрисовал перспективы применения радиоактивных изотопов в биологии и медицине. К 60-м годам трудно было найти в Академии наук биологический институт, где бы не работали выпускники организованного по его инициативе практикума по физическим методам исследования биологических объектов.

В 60—70-е годы под руководством Г. М. Франка были разработаны методы прижизненного исследования живых объектов, использующие двойное лучепреломление, дифракцию, рассеяние и когерентность света. Институт биологической физики АН СССР, который он возглавлял 20 лет, постоянно брал на себя хлопоты по организации симпозиумов и школ для пропаганды новых методов, не жалел сил на издание пособий и руководств.

Известно высказывание Глеба Михайловича: «Два зрелища меня неизменно восхищают и волнуют: танец маленьких лебедей и делящиеся хромосомы». В этом высказывании весь Глеб Михайлович, сохранивший черты художника и ученого. Он умел удивляться неожиданному в обычном, подмечать в частном общее, воспринимать мир целиком. С позиций широкого восприятия проблем он исходил при изучении живого. Выступая в 1970 г. на общем собрании Академии наук, он говорил: «Мы находимся в плену терминов «равновесие» и «нарушение равновесия». Нет, по существу говоря, равновесия ни в клетке, ни в организме, ни в биосфере в целом. Имеется некая динамическая циклика процессов, и, если нарушается регуляция этой циклики и выбросы превышают разрешенную амплитуду, наступает заболевание или гибель в клетке или в организме и катастрофические последствия в живой природе в целом... Очень важно отметить, что решение биологических задач требует совершенно нового стиля и в подходах, и в теории, и

в методах. Смысл моей агитации заключается в том, что если сделать попытку рассматривать эти задачи под углом зрения механизмов регуляции на всех уровнях организации живой системы, можно найти ясные и для теории, и для практики вопросы, начиная от регуляции субклеточных процессов и кончая сложными процессами биогеоценологии, не потонув во множестве биологических проблем»¹.

С таких же позиций он подходил и к исследованию механизмов мышечного сокращения. Он заставлял своих коллег взглянуть на проблему мышечного сокращения как на частный случай общего, как на одно из главных биологических явлений — подвижность. Постоянно подчеркивал, что раскрытие молекулярных и клеточных механизмов подвижности можно считать ключом к пониманию фундаментальных вопросов биологии, начиная с направленного перемещения РНК-полимеразы по ДНК, специфического движения клеточных мембран, сокращения мышечных волокон и кончая регуляцией биохимических и биофизических процессов в клетке.

«ЭПОХА МАШИННОЙ БИОЛОГИИ НЕ ЗА ГОРАМИ»

Наиболее ярко стиль работы Г. М. Франка можно проиллюстрировать на примере развития одного из направлений биологической физики — «машинной биологии», как называл это направление сам Глеб Михайлович. Речь идет об использовании вычислительной техники и робототехники для биологических исследований. «Машинная биология» была для Г. М. Франка любимым детищем, мыслью о ее создании он был одержим с конца 50-х годов, задолго до того, как она стала общепринятой.

Весной 1959 г. по инициативе Г. М. Франка в Институте биологической физики АН СССР началось формирование группы специалистов для решения задач «машинной биологии», в которую вошли выпускники московских вузов. В их числе был и я. Обосновывая необходимость развития этого направления в биофизике, Г. М. Франк говорил нам: «Человеческий глаз очень тонко подмечает различия между микрообъектами, фиксирует их величину, форму, оттенки цвета или яркость свечения. Но все это носит характер быст-

ротекующего впечатления. Даже опытному исследователю зрительный образ не позволяет количественно судить об особенностях изучаемой картины. Выход один — создавать машины, которые могли бы вместо человека «смотреть» в микроскоп. Пройдет немного времени, и автоматы-анализаторы живых структур совершат в биологии такой же переворот, какой около 300 лет назад произвел оптический микроскоп, а лет 15 назад — микроскоп электронный. Эпоха машинной биологии не за горами. У машинной биологии самое заманчивое будущее».

Поставленная перед группой задача распалась на две части: во-первых, создание вычислительной машины, которая могла бы подсчитывать количество клеток, определять их размеры и выдавать результаты оператору; во-вторых, создание для машины телевизионного «глаза» — сканирующего оптического микроскопа, который сообщал бы машине об оптической плотности в каждой точке поля зрения микроскопа с ошибкой не более 2—3 %.

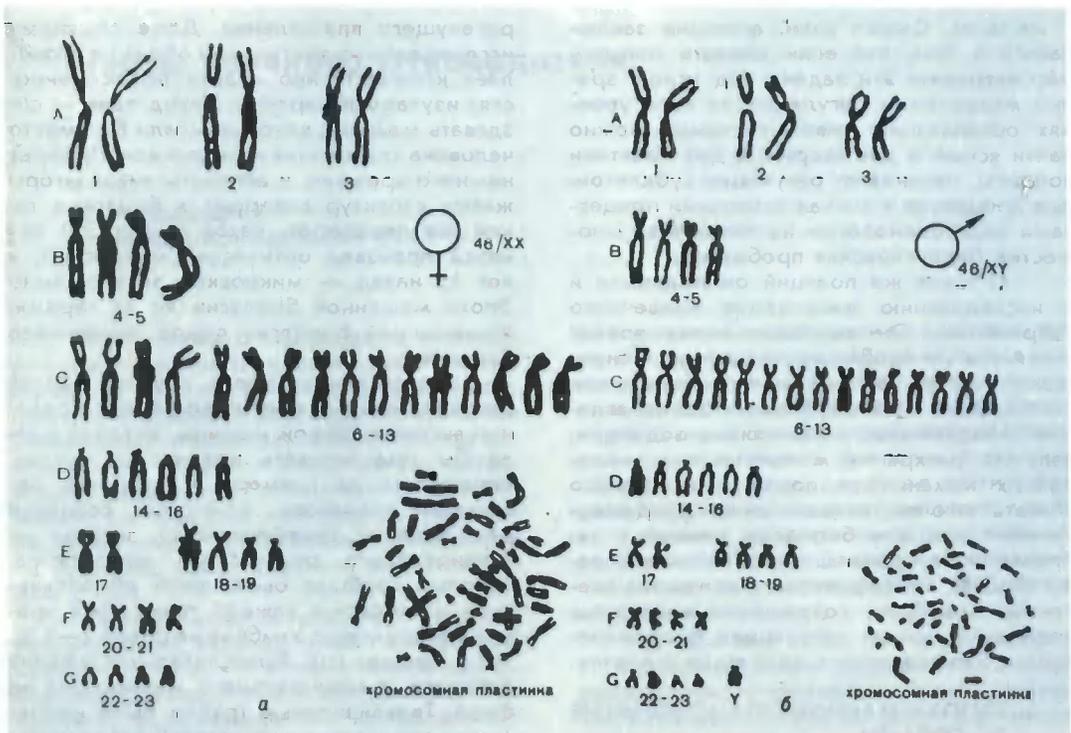
Прошел год. Вычислительная машина работала, а сканирующего микроскопа не было. Телевизионные трубки были непригодны для точных количественных измерений (это было 25 лет назад). Вернулись к механическому телевидению и использовали в качестве развертывающего изображение элемента отверстия во вращающемся диске. Был сделан макет механического сканирующего микроскопа. Внешне — гибрид Эйфелевой башни и пожарной каланчи, но макет работал, обеспечивая требуемую точность, хотя у него были и недостатки.

На их устранение ушло еще два года. Одновременно изменялись и совершенствовались вычислительные машины. Так появилось в 1964 г. семейство первых приборов — анализаторов биоструктур.

Все это время Г. М. Франк терпеливо наблюдал за этой сложной работой, не требовал отчетов за каждый месяц неудач. Мы чувствовали его присутствие, но оно не действовало угнетающе. Скорее наоборот, мы испытывали удовлетворение от сознания, что директор института проявляет интерес к нашей работе.

В мае 1966 г. в Пушине по инициативе Г. М. Франка состоялось Всесоюзное совещание по проблемам автоматизации исследования микроструктур. Оказалось, что прибор, который предназначался для биологов, нужен и другим специалистам. К работам были подключены различные научные и технические учреждения.

¹ Биофизика живой клетки. Пушينو, 1971, вып. 2, с. 4—5.



Нормальный женский [а] и мужской хромосомные наборы [б], расклассифицированные по геометрическим признакам на 7 групп [А — Г]. Использование специальной окраски и дополнительных оптических признаков позволяет провести классификацию на 23 группы. В нижней части показаны хромосомные [метафазные] пластинки до классификации в том виде, как ее видит исследователь под микроскопом.

Осенью 1966 г. академик Г. М. Франк поставил перед нами уже новую задачу — компьютерный анализ хромосом.

Хромосома содержит тысячи генов. Гены определяют признаки организма. Число хромосом в клетках различных видов животных и растений различно. Встречаются виды животных и растений, имеющие одинаковое число хромосом, но сами хромосомы при этом отличаются по форме. Набор хромосом является одной из главных характеристик вида. Отличие в наборе хромосом служит препятствием к межвидовому скрещиванию.

Идентификация набора хромосом основывается на понятии кариотипа — совокупности количественных и качественных характеристик хромосомного набора (числа, размеров и формы хромосом). Каждая хромосома состоит из двух хроматид, со-

единенных в центромерном участке². Нормальный хромосомный набор человека содержит 46 хромосом. Они образуют 23 пары, в каждой из которых одна хромосома получена от отца, другая — от матери.

Хромосомы каждой пары содержат гены, ответственные за одни и те же признаки. Такие хромосомы называются гомологичными. Генетическое соответствие гомологичных хромосом объясняет их геометрическое сходство. Однако это еще не означает, что негомологичные хромосомы должны обязательно отличаться по форме и размерам. Наоборот, у многих видов организмов значительная часть хромосом имеет сходную геометрию.

Схематическое изображение хромосом данного набора, в котором точно указаны размеры хромосом и соотношения плеч, носит название идиограммы. Ее строят на основании измерений хромосом многих клеток для получения статистически достоверных результатов.

Большинство встречающихся нарушений кариотипа можно разбить на два класса: численные и структурные. В первом случае геометрия всех хромосом дан-

² Центромера — участок хромосомы, ответственный за ее перемещение в период деления клетки.



Прибор «Морфоквант». Справа на экране телевизора — изображение хромосом на метафазной пластинке. Так их «видит» прибор.

ного набора соответствует стандарту, но число хромосом меньше или больше стандартного. При структурных нарушениях имеется нормальное число хромосом, или, точнее, центромер, но возможны отклонения в геометрии отдельных элементов.

Заболевания человека, вызванные изменением числа и формы хромосомы, носят название хромосомных болезней и составляют особый раздел медицинской генетики — медицинскую цитогенетику.

В настоящее время у человека описано свыше 1000 заболеваний, обусловленных теми или иными нарушениями в кариотипе. Так, например, 25 % всех спонтанных прерываний беременности, особенно на ранних сроках, обусловлены нарушениями кариотипа эмбриона, несовместимыми с его развитием. Среди ряда механизмов, приводящих к отклонению от нормы числа хромосом, можно указать, например, на оплодотворение одной яйцеклетки двумя сперматозоидами.

В среднем один на 600—800 новорожденных страдает болезнью Дауна, ве-

дущим симптомом при которой является глубокое слабоумие, часто сочетающееся с дефектами развития сердца и других органов. Кариотип таких больных включает дополнительную (47-ю) хромосому, относящуюся по своей морфологии и генетической структуре к 21-й паре. Иными словами, при болезни Дауна в 21-й паре имеется три гомологичных элемента, откуда происходит точное кариологическое название болезни — трисомия по 21-й хромосоме.

При других трисомиях нарушения развития столь тяжелы, что жизнеспособность резко снижается и ребенок погибает еще во время рождения или на первом году жизни. Таковы трисомии по 18-й и 13-й хромосомам, встречающиеся примерно в одном случае на 4—10 тыс. новорожденных.

В случае нарушений в системе половых хромосом жизнеспособность почти не снижается, поэтому доля хромосомных заболеваний среди эндокринологических больных велика. При нарушениях в системе половых хромосом типичными симптомами являются: недоразвитие или неправильное развитие первичных и вторичных половых признаков, бесплодие. В качестве примера можно назвать болезнь Тернера — Шерешевского у женщин (отсутствие в кариотипе одной половой хромосомы) и болезнь

Клайнфельтера у мужчин (наличие дополнительной половой хромосомы).

При диагностике численных нарушений кариотипа исследователь нередко сталкивается с необходимостью детально анализировать большое число клеток. При развитии эмбриона могут образоваться клеточные линии с различными типами нарушений, называемые хромосомными мозаиками.

Например, своеобразным типом мозаицизма при истинном гермафродитизме является кариотипический вариант 46, XX:46, XY. У таких пациентов часто находят функционирующие половые железы мужского и женского пола, что легко объяснить, поскольку одна клеточная линия содержит нормальный мужской кариотип 46, XY, а другая линия — нормальный женский 46, XX. Их совместное сосуществование в одном организме приводит к нарушению развития половых органов.

У разных больных количественное соотношение клеточных линий может различаться. В связи с этим подсчет числа хромосом и даже детальный анализ в небольшом числе клеток приведет к ошибочному диагнозу. Так, в случае мозаицизма только что упомянутого типа при соотношении 80 % 46, XX и 20 % 46, XY при исследовании первых 25—30 клеток совсем нередко может быть так, что ни один из мужских наборов не попадает в выборку. В таком случае может быть сделан ошибочный вывод о наличии у пациента нормального женского кариотипа.

Структурные нарушения хромосом, имеющие клиническое значение, встречаются так же часто, как и численные. Примером может служить синдром так называемого «кошачьего крика» у новорожденных. Кариологически у таких детей обнаруживают нехватку участка короткого плеча 5-й хромосомы.

Упомянем еще несколько примеров, иллюстрирующих специфические задачи, связанные с медико-генетической консультацией. Типичными поводами для такой консультации служат неоднократные спонтанные аборт, умственное недоразвитие у детей, нарушения развития пола у детей старшего возраста и взрослых, бесплодие и т. д. Основной вопрос, который интересует больных или их родителей, состоит в определении вероятности повторного появления аналогичных случаев в данной семье.

Специфика хромосомных заболеваний обуславливает необычный для медицинской практики характер обследования.

Обычно врач изучает состояние только самого пациента, обратившегося за помощью. В медико-генетической консультации обследование самого пациента является лишь частью работы. Помимо этого, большой объем клинических и лабораторных исследований проводится и для ближайших родственников больного. Так, болезнь Дауна, или трисомия по 21-й хромосоме, может встречаться в двух вариантах: явная трисомия, когда дополнительная 21-я хромосома присутствует в свободном виде, и неявная трисомия, когда та же лишняя хромосома присутствует в наборе, но сцеплена с другой хромосомой и в таком виде похожа на нормальную хромосому из другой группы. Клиническая картина обоих вариантов совершенно одинакова, и дифференцировать их обычными методами медицинского обследования невозможно. Это весьма трудоемкое исследование, на которое опытный исследователь может потратить несколько месяцев.

Приведенные случаи, разумеется, далеко не исчерпывают всего разнообразия хромосомных нарушений, имеющих клиническое значение⁴. Однако они убедительно доказывают практическую важность поставленной Г. М. Франком задачи.

Задачу машинного анализа хромосом можно сформулировать так: необходимо хромосомы метафазной пластинки распределить на группы и выяснить, чем полученный систематизированный набор отличается от нормального. Этот анализ тесно связан с другой, более общей проблемой — машинным опознаванием образов. В этой области было разработано много методов, но они оказались непригодными для анализа хромосом.

Существует еще и техническая сложность ввода изображения хромосом в вычислительную машину. Самая большая хромосома человека составляет в длину не более 10—12 микрон, а толщина ее плеча меньше одного микрона — размеры отдельных частей хромосомы находятся на пределе разрешения оптического микроскопа.

Кроме того, для записи в машину информации о каждой точке поля препарата и программы необходим большой объем памяти машины — около $1,5 \cdot 10^6$ бит. При поточечном линейном сканировании наря-

⁴ См.: Гиндилис В. М., Иваницкий Г. Р. Задачи и современное состояние машинного анализа хромосом. — В кн.: Современные проблемы машинного анализа биологических структур. М., 1970, с. 34.

ду с хромосомами осуществляется ввод «пустых» участков, не содержащих никакой оптической информации. Хромосомы на метафазной пластинке занимают всего 20—25 % общей площади. Поэтому для записи информации только о хромосомах необходимо $(3,7—3) \cdot 10^3$ бит. Хотя на последующих этапах обработки можно избавиться программным путем от информации о «пустых» участках, однако целесообразно выполнять эту операцию до ввода информации в вычислительную машину.

Так выглядела поставленная перед нами задача.

Летом 1966 г. наш институт посетил Т. Касперссон, шведский ученый, имя которого тогда было известно всем, кто занимался исследованием живой клетки. Он внимательно ознакомился с устройством прибора и сообщил, что у них тоже есть сканирующий микроскоп, однако технические решения в нашем приборе ему кажутся более удачными.

О работах Касперссона мы знали, так же как знали и о других работах в этой области. Однако нас не устраивали все существующие технические решения. Поиск продолжался. Прошло шесть лет. За этот период нами был найден новый принцип в сканирующей микроскопии, который был удачно реализован под руководством Ж. М. Агаджаняна.

Прибор назвали КРАБ — сокращение по первым буквам полного названия сканирующего микроскопа «контурно-рамочный анализатор биоструктур». В движениях его сканирующего пятна — зонда, когда наблюдаешь за ним на дисплее, действительно есть что-то общее с движением живого существа.

КРАБ «умеет» искать объект на поверхности препарата, обходить его по контуру, прервать строчное сканирование внутри контура объекта, обеспечивая последовательный ввод в память машины информации о каждом анализируемом микрообъекте. Машина может осуществлять анализ микрообъектов одновременно с вводом в память информации; за время поиска следующего объекта она успевает закончить анализ предыдущего и очистить свою оперативную память от информации об этом объекте. Такой последовательный анализ позволял уменьшить требуемый объем памяти при построении набора хромосом примерно в 46 раз. Сканирование позволяло получить информацию о характере объекта внутри контура — о наличии отверстий, оптически более плотных включений. Пустые

промежутки между объектами в памяти машины не вводились.

Шел август 1972 г. Институт биологической физики АН СССР — основной организатор IV Международного биофизического конгресса — принимал гостей. Г. М. Франк был президентом этого конгресса — самого крупного за всю историю биофизики. Нужно отметить, что перечень советских и международных научных организаций, в работе которых активное участие принимал Г. М. Франк, обширен. Многие из них были созданы по его инициативе и успешно работали под его руководством. В многочисленных зарубежных командировках он устанавливал научные контакты, что позволяло ему быстро сравнивать достигнутый в институте научный уровень с мировым.

Среди гостей был профессор П. Ньюрат из США — директор радиологического отделения Ново-Английского госпиталя в Бостоне. С ним мы были знакомы с 1968 г., фамилию его знали по публикациям с 1965 г. Ньюрат — известный ученый, один из первых, кто, используя сканирующие устройства, соединенные с универсальной вычислительной машиной, начал автоматизацию анализа хромосом человека. В нашей лаборатории он с восторгом крутил ручки настройки нового сканирующего микроскопа. «Если бы ваш микроскоп соединить с моей вычислительной машиной, мы могли бы сильно продвинуть вперед исследования хромосом», заметил он. — Мне очень понравилась эта система. Оригинальный прибор. Такого принципа я не видел. Ньюрат и не мог видеть аналогичного прибора. Это была новая оригинальная конструкция, на которую только что были получены патенты в США, Великобритании, Франции и ФРГ.

Возник вопрос — на какой производственной базе можно изготовить серию приборов КРАБ, чтобы обеспечить заинтересованные в нем организации?

В 1971 г. по инициативе Г. М. Франка был создан Координационный центр стран-участниц СЭВ по проблеме «Исследования в области биологической физики». На первом организационном заседании решили, что наши коллеги из ГДР рассмотрят вопросы, связанные с «машинной биологией». Так начиналась длительная научно-производственная связь Института биологической физики с народным предприятием «Карл Цейсс Йена».

Йена — старый университетский город Тюрингии — южной части Герман-

ской Демократической Республики. Здесь в середине прошлого века 30-летний Карл Цейсс основал механическую мастерскую по изготовлению микроскопов. В конце XIX в. маленькая мастерская превратилась в промышленный оптико-механический завод, производящий разнообразную оптико-физическую технику (геодезические, астрономические и медицинские приборы).

Новая история предприятия началась с 1 июня 1948 г., когда оно перешло в народную собственность и стало не только крупным современным оптико-механическим производством, но также и производителем электронного оборудования, что позволило создавать приборы с автоматизированным измерительным процессом. Мое пребывание в Йене в 1973 г. совпало с 25-летием народного предприятия «Карл Цейсс Йена». Был составлен первый совместный протокол, включающий в себя: согласованный рабочий план, план командировок, необходимых для реализации научного сотрудничества по проблемам машинного анализа изображений микроструктур, и перечень проблем, представляющих взаимный интерес. Началась разработка промышленного образца сканирующего оптического микроскопа.

Теперь, спустя почти 15 лет, я могу с уверенностью сказать, что идея Г. М. Франка о совместной работе была продуктивной — каждая из сторон не подвела другую, результат оказался взаимовыгодным. Купив у нас патенты на систему КРАБ, немецкие коллеги в короткий срок выпустили новый прибор «Морфоквант». На Весенней ярмарке 1977 г. в Лейпциге с успехом демонстрировался этот универсальный анализатор микрообъектов. Прибор был создан совместно коллективом разработчиков народного предприятия «Карл Цейсс Йена» (ГДР) и Института биологической физики АН СССР.

Ученые получили долгожданный инструмент для исследований, который нашел применение для количественного исследования хромосом, клеток крови, микроорганизмов, различных порошков, микропор, аэрозолей. В этом приборе был достигнут теоретический предел разрешения и точности, доступный для измерений в оптической микроскопии.

Г. М. Франк не успел увидеть осуществления своей мечты.

Работа Института биологической физики АН СССР и ряда других организаций «Разработка принципов сканирующей

оптической микроскопии и создание семейства анализаторов микрообъектов для использования в научных исследованиях и в народном хозяйстве» была отмечена Государственной премией СССР за 1978 г.⁴ Г. М. Франку премия была присуждена посмертно. Это была третья Государственная премия, которой он был удостоен.

*

Г. М. Франку принадлежала особая роль в создании многих научных учреждений (лабораторий, кафедр, институтов), в том числе и первого в нашей стране Научного центра биологических исследований. Он был его организатором и директором в трудный период — период становления центра (1961—1967).

Я вспоминаю один из теплых июньских вечеров. Мы сидели на балконе его квартиры в Пущине. Внизу открывался прекрасный вид на парк и новые институты Научного центра. Это было за год до его смерти. Он посмотрел на кроны деревьев и сказал: «Какой красивый стал парк, а ведь еще совсем недавно здесь было пустое место. Как быстро летит время». Затем помолчал и добавил: «Как еще много надо сделать...»

После смерти Г. М. Франка в библиотеке я видел книгу, где его рукой были подчеркнуты следующие слова: «По мере того как ты становишься старше, только молодежь, только твои ученики могут тебя спасти от преждевременного мозгового очерствения». Эта мысль была очень близка ему — я слышал ее от него в разных вариантах много раз. Им была создана современная биофизическая школа, через которую прошли многие молодые ученые.

Мне кажется, что для каждого ученого важно не только то, что остается в архивах науки, но и то, что остаются благодарные ему ученики, которые хотят написать неформальные строки о своем учителе.

⁴ Государственную премию получили: Г. М. Франк, Г. Р. Иваницкий, Ж. М. Агаджанян, М. А. Морозов — сотрудники Института биологической физики АН СССР; Э. А. Якубайтис, И. К. Альтен, Б. А. Янсон А. Я. Хесин — сотрудники Института электроники и вычислительной техники АН Латвийской ССР; Ю. Ф. Коркунов, Б. И. Баранов, В. С. Иванов — сотрудники Всесоюзного научно-исследовательского института телевидения и радиовещания; К. М. Богданов — сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института биосинтеза белковых веществ. (Прим. ред.).

Вестиментиферы

К. Н. Месис,
кандидат биологических наук
Москва

Животное, изображенное на публикуемой фотографии, — рифтия (*Riftia pachyptila*), представитель отряда вестиментифер (*Vestimentifera*), класса афренулят (*Afrenulata*), подтипа обтурат (*Obturatora*). Такого отряда, класса и подтипа еще нет в учебниках зоологии. Это — одно из наиболее важных зоологических открытий последних лет.

История вестиментифер началась 17 декабря 1966 г., когда американский гидронавт Э. Барэм, управляя подводным аппаратом «Дипстар-4000», увидев на глубине 1125 м у южной Калифорнии пучок длинных трубок (похожих на трубки многощетинковых червей — полихет), из которых торчали щупальца. Опираясь механической рукой, он сорвал пучок трубок с мгновенно втянувшимися в них животными и доставил на поверхность. Животные оказались вовсе не полихетами. Американцы переправили их М. Узббу — одному из крупнейших в мире специалистов по погонофорам (морским беспозвоночным, обитающим в длинных хитиновых, открытых с обоих концов трубках). «Это — новый класс погонофор», — уверенно заявил Узбб. Он дал животному название «ламеллибрахия Барэма» (*Lamellibrachia barhami*) и описал ее строение и анатомию некоторых систем тела¹. Впоследствии выяснилось, что ламеллибрахии широко распространены в восточной части Тихого океана, от Орегона

до южной Мексики, и встречаются преимущественно на материковом склоне.

В 1970 г. мексиканское исследовательское судно «Луймес» выловило ламеллибрахию в Атлантике, на склоне у Гайаны на глубине 500 м. Хотя добыт был лишь один экземпляр (и по сей день остающийся единственным), попал он в руки прекрасных специалистов — голландца Я. ван-дер-Ланда и датчанина А. Нёрреванга, посвятивших ему солидную монографию². Оказалось, это новый вид — *Lamellibrachia luymesii*. Но эти исследователи сочли, что вестиментиферы ближе всего стоят не к погонофорам, как считает Узбб, а к кольчатым червям.

Третья страница истории вестиментифер открылась 15 февраля 1977 г., когда американский подводный аппарат «Алвин» впервые опустился на дно восточной части Тихого океана в районе подводных гидротерм Галапагосского рифта и глазам ученых открылся на глубине 2450 м оазис в глубоководной пустыне. «Розовым садом» назвали его наблюдатели. «Розами» были громадные голстые червеобразные животные с ярко-красными плюмажами щупалец. Это оказались тоже вестиментиферы, но иного рода и семейства — рифтии (*Riftia pachyptila*). Три экспедиции в 1977—1979 гг. собрали множество рифтий³ и в «Розовом саду», и в соседних оазисах «Райский сад», «Мидиевая банка», «Одуванчики» (глу-

бина океана 2485—2496 м), и значительно севернее — на 21° с. ш. у входа в Калифорнийский залив, на глубине 2595 м. Удалось изучить не только строение⁴, но и физиологию рифтий, в частности их кровь и уникальный способ питания⁵. Уточнено их систематическое положение — особый подтип (*Obturatora*) типа погонофор (все-таки погонофор!).

Рифтии — одни из самых заметных обитателей района подводных термальных излияний. Их перепутанные, срастающиеся концами белые трубки и красные плюмажи сразу бросаются в глаза с приближением подводного аппарата к оазисам. В Галапагосском рифте они селятся поближе к жерлам источников, где теплее, обитают при температуре от 2 до 23 °С. По последним данным, рифтии кроме Галапагосского рифта встречаются на обширном пространстве Восточно-Тихоокеанского поднятия, от 20° ю. ш. до 27° с. ш. В отличие от ламеллибрахий рифтии обнаружены только в оазисах и не встречаются на материковом склоне. Рифтии — крупные животные, до 1,5 м длины при диаметре 3,5—4 см, а их трубки достигают 3 м в длину и 5 см в диаметре. Трубка рифтии белая цилиндрическая гибкая, хотя и толстостенная (2—3 мм), очень прочная; она состоит из белка и хитина. Животное занимает переднюю часть трубки, которая отделяется от задней части перегородкой. Тело рифтии состоит из четырех отделов:

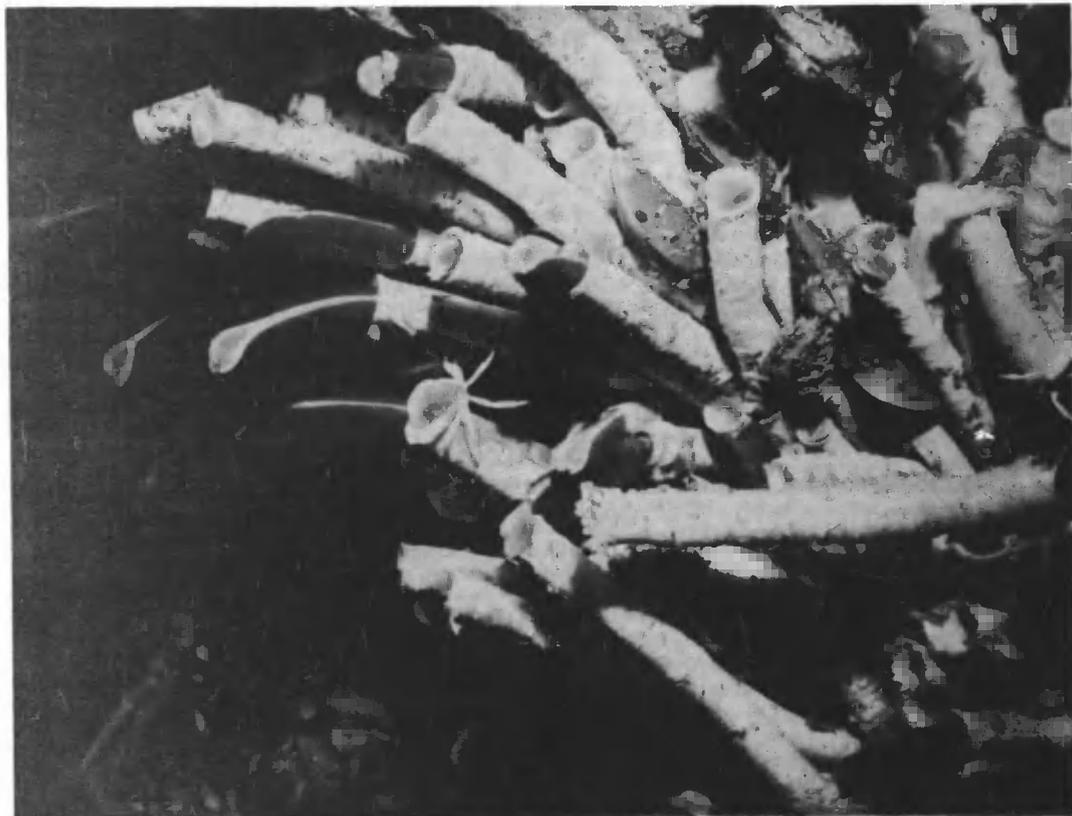
² Land J. van der, Nørrevang A. — Kgl. Vid. Selsk. Skrifter, 1977, v. 21, № 3, p. 102.

³ Corliss J. B. et al. — Science, 1979, v. 203, № 4385, p. 1073; Grassle J. F. et al. — Oceanus, 1979, v. 22, № 2, p. 2; Grassle J. F. — Mar. Technol. Soc. J., 1982, v. 16, № 3, p. 33.

⁴ Jones M. L. — Proc. Biol. Soc. Wash., 1981, v. 93, № 4, p. 1295; Science, 1981, v. 213, № 4505, p. 333.

⁵ Felbeck H. — Science, 1981, v. 213, № 4505, p. 336; Rau G. H. — Ibid., p. 338; Cavanaugh C. M. et al. — Ibid., p. 340.

¹ Webb M. — Bull. Mar. Sci., 1969, v. 19, № 1, p. 18; Zool. Jb. Anat., 1977, Bd. 97, H. 3, S. 455; Z. Zool. System. Evolutionsforsch., 1975, Sonderheft 1, S. 102.



Участок глубоководного оазиса «Розовый сад» [фото из «New Scientist», 1981, v. 92, № 1283].

плюмаж щупалец, «грудь» с крыльями, туловище с трофосомой и сегментированный задний конец, хвост.

Плюмаж щупалец напоминает крупное (16—17 см) толстое птичье перо, состоящее из множества отдельных щупалец пластин (до 300 и более). Каждая пластинка подобна миниатюрной пластине китового уса и на конце разделяется на сотню отдельных щупалец, напоминающих всклокоченную шевелюру. Всего у крупной рифтии свыше 200 тыс. щупалец, в каждое заходит кровеносный сосуд. Кровь содержит высокоактивный гемоглобин⁶, поэтому

весь плюмаж красного цвета. Обычно плюмаж выставлен из трубки наружу, но при испуге рифтия быстро втягивается в трубку и прикрывает ее устье особой крышечкой, обтюракулом (отсюда название подтипа — обтюрата).

«Грудь» несет два крупных «крыла», функция которых — распирать трубку, чтобы обеспечить проток воды между телом и стенкой трубки. Крылья мускулисты и столь упруги, что если бы рифтия высунулась за уровень их нижнего края, вряд ли она смогла бы втянуться обратно — так сильно распахнулись бы крылья. Животное со сложенными крыльями как бы запакивает на себе одеяние. «Одеяние» по-латыни *vestimentum*, отсюда и название «вестиментиферы».

Длинное туловище занимает больше половины, а у самых крупных рифтий до 80 % тела. Как и наружная сторона крыльев, тело покрыто бородав-

чатыми железами, предположительно секреторирующими вещество трубки. Внутри туловища помещаются кровеносные сосуды и половая железа, но основную его часть занимает трофосома — гигантская железа, состоящая из множества трубочек. Трубочки оплетены кровеносными сосудами, а внутри буквально набиты бактериями. В грамме вещества железы содержится до 3,7 млрд бактерий.

«Хвост» длиной 2—3 см состоит из нескольких десятков сегментов, отделенных друг от друга перегородками и снаружи несущих щетинки. «Хвост» со щетинками свойствен не только многощетинковым червям, но и погонофорам; у погонофор его впервые открыл Уэбб. Парадоксально, что именно Уэбб «проглядел» его у вестиментифер и считал отсутствие щетинок одним из отличий вестиментифер от погонофор.

Рифтию и ламеллибрахию

⁶ Arp A. J., Childress J. J. — *Ibid.*, p. 342; Wittenberg J. B. — *Ibid.*, p. 344; Terwilliger R. C. et al. — *Comp. Biochem. Physiol.*, 1980, v. 69B, p. 531.

относят к разным семействам. Их различия лучше всего заметны в строении плюмажа: у рифтии щупальца сливаются в пластины и расположены попеременно поперек оси тела, а у ламеллибрахии они сливаются в стволы, расположенные подковой параллельно оси тела. В основном же животные построены по единому плану. Правда, ламеллибрахии помогают рифтий.

Ни рта, ни кишечника, ни заднепроходного отверстия у вестиментифер нет. Поначалу думали, что они, как и погонофоры (тоже лишенные пищеварительной системы), питаются, всасывая щупальцами растворенное в воде органическое вещество. Огромная поверхность сотен тысяч щупалец и богатое снабжение их кровью делают плюмаж щупалец прекрасным аппаратом для поглощения растворенной органики. Но это животное — в рост человека и чуть ли не в руку толщиной, с красной кровью — требует куда больше энергии, чем похожие на тонкую нитку погонофоры, а глубинные воды чрезвычайно бедны растворенной органикой. Тщательные исследования биохимиков показали, что способ питания рифтии совершенно своеобразен⁷. В трофосоме живут бактерии-симбионты. Они окисляют сероводород (а возможно, и метан), выделяющийся из земных недр в жерлах гидротермальных источников. Окисление сероводорода дает им энергию, которую они затрачивают на построение органических веществ из углекислого газа, также выделяющегося из недр. Но бактерии эти — аэробы, а в водах, изливающихся из гидротерм, совсем нет кислорода. Рифтия дает бактериям место для жизни, охраняет от врагов, подставляет им с собственной кровью кислород — и поедает самих бактерий или продукты их метаболизма. В тканях трофосомы обнаружены высокоактивные ферменты, участвующие в

окислении сероводорода и темновой фиксации углекислоты, а также многочисленные кристаллики элементарной серы. Таким образом, рифтия — уникальный пример хемоавтотрофного животного, не нуждающегося ни в притоке органики извне, ни в свете для фотосинтеза.

Открытие хемоавтотрофии у вестиментифер заставило пересмотреть и вопрос о питании погонофор. У некоторых из них тоже были обнаружены симбиотические хемоавтотрофные бактерии⁸.

При отсутствии у вестиментифер пищеварительной системы остается загадкой, где же у них находится брюшная сторона. Мозг и нервные стволы лежат у вестиментифер на той стороне тела, откуда растут крылья, а сердце и половые отверстия — на противоположной. У первичноротых, к которым относятся кольчатые черви, нервная система залегает на брюшной стороне тела, а у вторичноротых, к которым относятся погонофоры (теперь их считают особым стволом животного царства), — на спинной. Стронники родства вестиментифер с вторичноротыми считают ту сторону их тела, откуда растут крылья, спинной, а стронники их родства с первичноротыми — брюшной. Ну а как объективно установить, где брюшная сторона, если у животного нет брюха?

Размножение вестиментифер тоже загадочно. Они раздельнополы; яйца их округлые и довольно мелкие — около 0,1 мм. Погонофоры откладывают яйца в трубку, где они и развиваются под охраной матери, а у вестиментифер никто не видел ни зрелых яиц, ни развивающихся эмбрионов, видели только молодых особей — их трубки прикрепляются к трубкам взрослых. Узбб полагает, что самки вестиментифер вынашивают яйца на груди между крыльями, где имеется особый «питательный» эпителий, могущий играть роль своеобразной плаценты. Самая маленькая из известных рифтий (ее длина 7,5 мм) уже имеет сформированную трубку. У нее нет и следа пищеварительной системы. Яйца рифтий свободны от бактерий — когда же молодая рифтия получает симбионтов? И — что еще важнее — как расселяются рифтии, если у них нет (а по-видимому, действительно нет) питающейся планктоном пелагической личинки? Ведь оазисы разделены громадными пространствами морского дна, на которых нет гидротерм и нет условий для жизни рифтий. Продолжительность существования оазиса невелика (возможно, годы или десятилетия), потом активность излияний затухает, газы из недр перестают поступать и оазис гибнет. Американские исследователи видели на месте недавно угасших излияний целые поля отмерших моллюсков. Куда деваются рифтии, когда термальные источники затухают, и откуда берется население новых, только что возникших гидротерм? На все эти вопросы ответа пока нет.

Приведенная фотография сделана из подводного аппарата «Алвин» в начале 1979 г. На ней запечатлен участок «Розового сада». Некоторые рифтии уже заметили аппарат и втянулись в трубки, другие, на заднем плане, еще красуются плюмажами. Между трубками сидят глубоководные мидии — еще не описанный вид двустворчатых моллюсков. На дне под трубками живут гигантские (до 30 см в длину) моллюски калиптогены (*Calypotoga magnifica*) с необычным для этих животных красным мясом. По трубкам вестиментифер ползают слепые крабы (*Bythograea thermydron*). Это — главные враги рифтий: они объедают их щупальца.

Десятки разнообразных и до недавних пор неизвестных науке животных составляют сообщество термальных излияний Восточно-Тихоокеанской рифтовой зоны. И все они в конечном счете питаются энергией восстановленных соединений, выделяющихся из недр Земли, — геотермальной энергией. Оазис в глубоководных пустынях — это мир, где не Солнце, а сера — основа жизни.

⁷ Williams P. M. et al. — Nature, 1981, v. 292, № 5822, p. 448; Felbeck H. et al. — Ibid., v. 293, № 5830, p. 291; Hessler R. — New Scientist, 1981, v. 92, № 1283, p. 741.

⁸ Southward A. J. et al. — Nature, 1981, v. 293, № 5834, p. 616.

Популяционная генетика и первоначальное заселение Америки

Р. И. Сукерник, М. Кроуфорд



Рем Израилевич Сукерник, кандидат биологических наук, заведующий Межведомственной лабораторией популяционной генетики человека Института клинической и экспериментальной медицины СО АМН СССР и Института цитологии и генетики СО АН СССР. Основные работы — в области иммуногенетики и популяционной биологии малых народностей Сибири.



Майкл Герман Кроуфорд, заведующий лабораторией биологической антропологии Канзасского университета (Лоуренс, штат Канзас, США), профессор. Область научных интересов — биология обособленных этнических групп и племен Северной и Центральной Америки.

Человек проник на американский континент на относительно позднем этапе своей естественной истории, примерно 20 тыс. лет назад, т. е. в конце плейстоцена, когда Африка и значительная часть Евразии уже были заселены. Такое запоздалое освоение Нового Света нетрудно объяснить: суровые условия жизни на ближайших подступах к Америке предъявляли высокие требования к человеческим коллективам. Прародительская популяция, какой бы малой она ни была, нуждалась в таком запасе биологического разнообразия, который обеспечил бы ей расселение и последующее приспособление ее дочерних групп. В противном случае освоение необозримых пространств Но-

вого Света, отличающегося беспредельным спектром изменчивости климата, ландшафтов, растительного и животного мира за относительно короткое эволюционное время (несколько сот поколений), оказалось бы невозможным.

По всей вероятности, первыми поселенцами американского материка были сибирские охотники — жители древней Берингии. Закаленные холодом и привыкшие к суровой полукочевой жизни, они когда-то сумели достичь внутренних районов Америки, богатых дикими травоядными. Но наступление очередного ледникового периода надолго отрезало небольшую вначале группу людей от внешнего мира. Как же сложилась судьба первых поселен-

цев Америки, оказавшихся по воле случая участниками уникального эксперимента, поставленного природой?

Пытаясь восстановить неясные до сих пор события глубокой древности, мы решили обратиться к популяционной генетике в надежде, что полученные при этом представления помогут, в конечном счете, заполнить первые страницы истории расселения человека на земном шаре.

НА СТЫКЕ АЗИИ И АМЕРИКИ В ДРЕВНОСТИ

В конце плейстоцена четверть суши Евразии и три четверти Северной Америки были покрыты ледниками. Чукотка и Камчатка, соединенные с Западной Аляской сухопутным мостом шириной около 1 тыс. км, образовывали единую зоогеографическую область, Берингию, отгороженную континентальным льдом частично от внутренних районов Сибири и полностью от центральных областей Америки. Именно с этой обширной страны с крайне суровым, лишь в южных районах смягченным близостью Тихого океана климатом человек начал свое эпохальное освоение Арктики. Первыми жителями Берингии во время последнего оледенения (20—11 тыс. лет назад) были редкие группы сибирских охотников на крупных травоядных — мамонта, шерстистого носорога, овцебыка, бизона, мелких лошадей и северных оленей. Полосы суши между отступившим морем и континентальным льдом связывали жителей Берингии со Старым Светом. Одна такая полоса (шириной до 500 км) от Таймыра до Аляски включала в себя Новосибирские о-ва и о-в Врангеля, другая, идущая вдоль побережья Охотского моря, связывала Берингию с южными районами Восточной Сибири. Сибирские охотники на мамонта по меньшей мере дважды могли попасть в Новый Свет: в начале последнего оледенения, когда проход в Канадском горном массиве, соединявший Западную Аляску с неоледеневшими областями Америки, был еще свободен ото льда, и в конце оледенения, незадолго до того, как возникшее на месте сухопутного моста Берингово море разъединило обитателей Чукотки и Аляски.

Глобальное потепление и таяние ледников в начале голоцена (10 тыс. лет назад) привело к повышению уровня Мирового океана; изменился климат и окружающая среда, вымерли мамонты. Основным объектом охотничьего промысла в приполярных районах стали олень и лось. Обилие

морских млекопитающих, птицы, рыбы в северной части Тихого океана способствовало формированию культуры оседлых морских охотников. На северо-западе Америки началось смешение населения Аляски и прилегающих районов американского материка, чему на протяжении многих тысячелетий препятствовал Канадский ледяной барьер¹.

МОДЕЛЬ ПОПУЛЯЦИИ ОХОТНИЧЬЕГО ТИПА

Хрестоматийные представления, сложившиеся под впечатлением палеонтологических и археологических открытий, указывают, что азиатские охотники на мамонта открыли Новый Свет случайно, в процессе преследования диких животных. Такой упрощенный подход не может быть безоговорочно принят современным исследователем. Чтобы лучше представить себе реальную картину далекого прошлого, необходимо прежде всего изучить демографическую и генетическую структуру редких ныне генетических изолятов Азиатского Севера, связанных с древним населением Сибири.

Такой по существу уникальной популяцией является самая северная и Евразии этнографическая группа — нганасаны Таймыра (численность их — примерно 700 человек). Благодаря обилию дикого северного оленя, сохранившегося здесь с прежних времен, географической удаленности и обособленности, нганасаны дольше других этнографических групп, обитавших в приполярных районах Северного полушария (саамы Скандинавии, юагиры и чукчи Сибири, эскимосы карибу Канады), сохраняли основные черты внутренней биосоциальной структуры, свойственной всем этим популяциям в то время, когда они жили преимущественно охотой на дикого оленя. Вот почему сведения о внутренней иерархии нганасан, которые еще совсем недавно состояли из двух родственных племен, могут стать эскизом модели для изучения континентальных охотников древней Берингии.

Известно, что в основе социальной организации племенной популяции лежат родственные связи между членами племени, а пространственная организация диктуется рельефом местности и распре-

¹ Берингия в кайнозое. Владивосток, 1976: Диков Н. Н. Древние культуры Северо-Восточной Азии. М., 1979.



Лесные ненцы (поселок Харампур, Пуровский район, Ямало-Ненецкий автономный округ, 1979 г.).



Лесные ненцы возвращаются с охоты (оз. Нумто, Березовский район, Ханты-Мансийский автономный округ, 1977 г.).



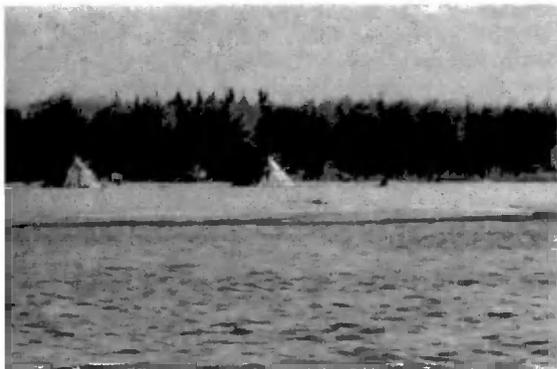
Чумы лесных ненцев на берегу р. Пур (Пуровский район, Ямало-Ненецкий автономный округ, 1976 г.).

делением пищевых ресурсов. Каждое племя обладает своей, четко обозначенной и признаваемой соседними племенами территорией, в пределах которой оно охотится, занимается рыболовством и собирательством съедобных растений. В отличие от земледельческих популяций, живущих оседло, охотничье племя в силу

своей подвижности не имеет постоянных поселений. Так, нганасаны, жившие стойбищами (несколько чумов, поставленных по соседству), каждую весну и осень перемещались поближе к речным переправам на путях массовых сезонных миграций дикого оленя из леса в тундру и обратно. Территориальную группу из нескольких нганасанских стойбищ, кочующих в пределах определенной территории, можно рассматривать как субпопуляцию. Два-три десятилетия назад численность такой суб-



Семья нганасан (старик в шаманском наряде) и гости. На заднем плане — чум [р. Авам, Таймыр, 1975 г.].



популяции — когда нганасаны еще не жили в поселках — составляла 60—150 человек. Полстолетия назад нганасанское стойбище включало, как правило, 2—3 чума, в которых жили 20—30 человек, приходящихся друг другу родственниками или свойственниками².

В благополучные периоды нганасанской истории естественный прирост приводил в некоторых стойбищах к несоответствию между чрезмерной концентрацией жителей и доступными жизненными ресурсами, что неминуемо заканчивалось их делением. Поводом к разделению часто служили распри, возникавшие в разросшемся стойбище вследствие соперничества мужчин за лидирующее положение. Интересно, что ядро отделяющейся группировки состояло из так называемой расширенной семьи — родственников по линии отца и их близких. Новое стойбище обосновывалось неподалеку от родительского, кочуя в пределах той же, а иногда соседней субпопуляции. В неблагоприятные периоды, когда изменение экологической обстановки приводило к снижению численности северного оленя, соответственно снижалась и численность нганасан. Снижение численности сопровождалось слиянием маломощных стойбищ, неспособных к самостоятельному существованию. Хотя это и приводило к сокращению осваиваемой нганасанами территории, объединение хирующих семейных кланов диктовалось жизненной необходимостью иметь оптимальную численность и половозрастной состав в каждом стойбище и во всей территориальной группе (субпопуляции) как для коллективной охоты, так и для формирования экзогамных браков. Законы социальной жизни запрещали нганасанам браки между близкими родственниками вплоть до брака между троюродными братом и сестрой.

Реконструируемую популяцию охотников на северного оленя можно, хотя и небезоговорочно, рассматривать как вариант универсальной модели популяции охотничье-собираетельского типа, впервые предложенной Дж. Нилом³. В соответствии с той ролью, которую Нил отводит процессам деления и слияния в сохранении популяционной структуры индейских племен зоны влажного тропического леса Южной Америки, модель получила название «дробление—слияние» (fission-fusion model). Из нее следует, что равновесие между более плотно и менее плотно населенными территориями в пределах земель, занимаемых одним племенем, под-

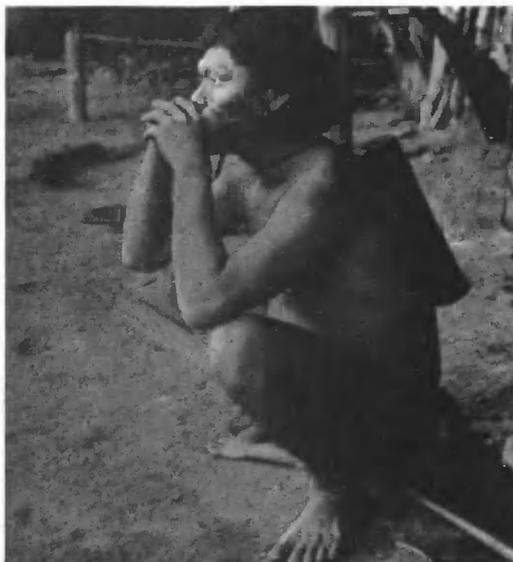
² Долгих Б. О. Происхождение нганасан.— В сб.: Труды Института этнографии. М.—Л., 1952, т. 18, с. 5; Он же. К вопросу о соотношении большой и малой семьи у народов

Севера в прошлом.— В кн.: Социальная организация и культура народов Севера. М., 1974, с. 21; Гольцова Т. В., Сукерник Р. И.— Генетика, 1979, т. 15, № 4, с. 734.

³ Neel J. V.— Science, 1970, v. 170, p. 815.



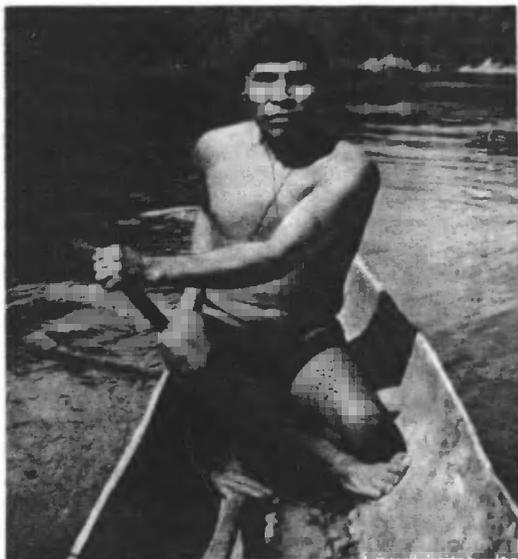
Индийцы племени яномамо (бассейн р. Ориноко, Бразилия, Венесуэла): слева — деревянная крсавица; в центре — молодой воин; справа — индеец в лодке. Фотографии 1970-х годов любезно предоставлены «Природе» Дж. Нилом.



держивается за счет периодического (каждые 2—4 поколения) исхода из разросшейся деревни группы кровных родственников. Такая группа может основать собственное поселение на незанятой территории или поселиться в другой, обычно малочисленной деревне. Примечательно, что набор генов и их частот в отпочковывающемся семейном клане представляет, благодаря скоплению родственных геномов (геном — совокупность всех генов в индивидуальном организме), неслучайную выборку из родительской популяции, что, в конечном счете, приводит к неравномерному, причудливому распределению генофонда племени на его территории. Такая генетическая микродифференциация при подходящих условиях может привести к важным эволюционным последствиям. При наличии свободных охотничьих угодий как предпосылки для роста численности и последующей территориальной экспансии «неслучайная» миграция обеспечивает более высокий темп дивергенции, чем предсказывает теория случайных процессов — генетический дрейф. Вычленение конгломерата близких родственников из разросшейся родительской группы — первый шаг на пути к образованию нового племени на сопредельной территории.

Высокая степень внутрипопуляционной изменчивости, поддерживаемой в кочующих охотничьих коллективах при помощи социального механизма, служит залогом выживания и последующего разрастания отдельных семей в случае резких перемен в окружающей природной среде.

Пока Западная Аляска была тупиком Сибири, в соответствии с рассмотренной моделью численность популяции колебалась незначительно. Ситуация резко изменилась, когда в начале последнего оледенения внутренние районы Америки, обладающие неиссякаемыми источниками животной пищи, впервые стали доступными для человека. Та охотничья группа, которая обладала большей способностью к изготовлению необходимых орудий охоты, начинает быстро увеличивать свою численность и, в меньшей степени, за счет уменьшения детской смертности. Достигнув критического уровня плотности, разросшаяся популяция распадалась на отдельные составные части — кровнородственные группировки. Часть из них, чтобы обеспечить себя жизненными ресурсами, покидала традиционные места обитания. На сопредельной территории весь цикл повторялся в той же последовательности: экспоненциальный рост численности, деление, миграция отдельных родственных семей на расстояние, достаточное, чтобы обеспечить себя пищей, но не столь далекое, чтобы оказаться в длительной репро-



дуктивной изоляции, угрожающей вымиранием. Все нарастающий темп разрастания и расселения дочерних групп не снижался до тех пор, пока все свободные земли не были заселены.

Загадочной остается численность предковой группы, с которой началось первоначальное заселение Америки. Суровый климат и вследствие этого низкая плотность населения древней Берингии наводят на размышления о том, что средний размер популяции охотников на мамонта не должен был существенно превысить средний размер популяции охотников на оленя и лося, живших в более позднее время. Судя по тому, что известно о численности и плотности ингансан, юкагиров, чукчей в XVII в., численность одного племени в зоне северного леса Восточной Сибири составляла несколько сот (порядка 500) человек при плотности 1—2 человека на 100 км². Дж. Нил и Ф. Сальзано подсчитали, что достаточно было одной группе берингийских охотников из 400 человек «проникнуть» в Новый Свет 15 тысячелетий назад, чтобы при естественном приросте всего лишь 1,4 на поколение породить в итоге те 10 млн индейцев, которые населяли Северную, Центральную и Южную Америку к приходу первых европейцев в середине нашего тысячелетия⁴.

Низкая плотность населения, препятствующая передаче микроорганизмов, возбудителей заразных болезней, не могла не сказаться благоприятным образом на популяционной динамике первых американцев. И в наши дни единичные племена индейцев Южной Америки (яномамо), живущие малочисленными, в несколько десятков человек, деревнями, разбросанными на значительной территории на стыке Бразилии и Венесуэлы, отличаются от своих соседей непрерывным ростом численности и хорошим здоровьем.

НАСЛЕДСТВЕННОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И АДАПТАЦИЯ В ИЗМЕНЧИВОЙ СРЕДЕ

Как известно, любая человеческая популяция представляет собой смесь генотипически неодинаковых, за исключением однойцовых близнецов, индивидуумов, у которых многие гены присутствуют в данном месте хромосомы (генном локусе) в виде аллелей. Последние представляют собой варианты формы или состояния одного и того же гена. Если оба аллеля, как тот, что унаследован от отца, так и тот, который получен от матери, одинаковы, то говорят о гомозиготности по данному гену. В случае, когда аллели оказываются разными, индивидуум считается гетерозиготным. Зная частоты аллелей в ряде генных локусов, можно подсчитать среднюю гетерозиготность, которая служит удобным показателем наследственного, генного разнообразия в популяции. Человеческие популяции, различающиеся по уровню средней гетерозиготности, варьируют по состоянию здоровья и по способности к воспроизводству следующего поколения. В ситуации, когда естественный отбор предъявляет одинаковые требования нескольким популяциям, повышенный уровень гетерозиготности обеспечивает преимущество при формировании наиболее приспособленных генотипов. В качестве примера одной такой популяции, освоившей малоприспособленную для жизни болотистую местность, очевидно, благодаря высокой гетерозиготности, показательна история черных карибов⁵.

В конце XVIII в. 2 тыс. черных карибов (индейцы, смешавшиеся с неграми, беглецами с невольничьих кораблей во времена работорговли) были насильно вы-

⁴ Neel J. V., Salzano F. M. A prospectus for genetic studies on the American Indians.— In: The Biology of Human Adaptability. Oxford, 1966, p. 245.

⁵ Crawford M. H. et al.— Hum. Biol., 1981, v. 53, p. 87.

везены английской колониальной администрацией из их родного дома — о-ва Сент-Винсент (Малые Антильские о-ва в Карибском бассейне) — на безлюдный в то время, безымянный остров, расположенный неподалеку от атлантического побережья Центральной Америки в районе Гондураса. Вскоре, после того как к ним присоединилась небольшая группа креолов (метисы европейцев и негров), последовал беспрецедентный рост численности жителей единственной на острове деревни и, как следствие, расселение дочерних групп в топких, малярийных низинах Гондураса, Гватемалы, Никарагуа и Белиза. В 1977 г. черные карибы, основой экономического существования которых является рыболовство в сочетании с другими морскими промыслами и огородничеством, жили в 56 деревнях. Их общая численность составила 70 тыс., увеличившись в 35 раз за время жизни семи-восьми поколений.

Не исключено, что дочерние популяции, успешно приспособившиеся к непривычным для предковой группы черных карибов условиям существования, этим, отчасти, обязаны присутствию гена серповидноклеточности, унаследованного черными карибами от своих африканских предков. В гетерозиготном состоянии этот ген определяет относительную устойчивость к малярийному плазмодию — возбудителю тропической малярии, завезенной в Новый Свет из Западной Африки. Однако маловероятно, что сбалансированный полиморфизм только по одному этому локусу, когда приспособленность гетерозиготы выше по сравнению с каждой из гомозигот, сыграл решающую роль в адаптивной эволюции черных карибов. Этот тип жесткого, уравновешивающего отбора скорее исключение, чем правило. Известно что в природных популяциях животных и растений естественный отбор гораздо чаще благоприятствует особям, гетерозиготным по многим локусам. В изменчивой среде гетерозиготы, благодаря компенсационным биохимическим механизмам, приобретают определенные преимущества в борьбе за жизненные ресурсы и брачных партнеров.

Исключительное значение в поддержании высокого генотипического разнообразия у черных карибов имеет характер формирования брачных пар. Последовательная полигиния (моногамное брачное установление, по которому мужчина в течение жизни последовательно меняет несколько жен), замещавшаяся ими от индейских предков, перегруппировывает и

без того разнообразный генофонд популяции, сложившийся в результате смешения представителей трех основных рас — монголоидной, негроидной и европеоидной. Таким образом, каждое последующее поколение отличается от предыдущего уникальным генотипическим составом. Такая перетасовка разных по происхождению и по физической структуре генов обеспечивала каждому поколению максимальные возможности для испытания отбором большого числа генных комбинаций. В итоге на сите естественного отбора задерживались лишь те, которые увеличивали выживаемость и повышали плодовитость.

Имея наглядный пример малочисленной вначале группы, не только выжившей в новых неблагоприятных условиях природной среды, но и многократно разросшейся благодаря очевидному гетерозисному эффекту, можно предположить, что во времена первоначального заселения Америки межгрупповой отбор должен был благоприятствовать той группе, у которой при прочих равных условиях уровень гетерозиготности был более высоким, или, говоря иначе, выживала та популяция, которая обладала большей биологической приспособленностью. Вместе с тем оказалось, что уровень средней гетерозиготности в индейских популяциях Северной Америки выше, чем Южной. Приток новых генов со стороны Сибири в голоцене, носители которых легко преодолевали неширокий Берингов пролив, — наиболее вероятная причина обнаруженных различий. Неолитическое время в Сибири отмечено нарастающим увеличением численности и плотности населения на юге и юго-западе континента, где формировались и смешивались разнородные, в том числе и в расовом отношении, племена и народности. Продвигаясь в редкозаселенную зону тайги и северного (лиственничного) леса, они поглощали технически менее вооруженные и биологически более однородные охотничьи группы или оттесняли их все дальше к северу и северо-востоку.

РОДОСЛОВНАЯ АМЕРИКАНСКИХ ИНДЕЙЦЕВ

Еще в XVII столетии многие путешественники и естествоиспытатели отмечали внешнее сходство между народами Сибири и коренными жителями Америки. Но только к середине нашего столетия, благодаря исследованиям советских и американских антропологов, были получены

беспорные аргументы в пользу азиатского происхождения американских индейцев. Однако антропометрические методы, широко используемые в антропологии, не позволили установить, насколько фенотипическое сходство между населением приполярной зоны Азии и Америки отражает генетическое родство (т. е. единство происхождения), а насколько оно — следствие естественного отбора (т. е. возникло благодаря многовековому влиянию сходной и одинаково суровой окружающей среды). Между тем морфологические признаки находятся под контролем многих генных локусов и формируются под влиянием как генотипа, так и среды. Поэтому биологическая изменчивость в каком-либо географическом регионе приобретает обычные черты непрерывности, затрудняющей оценку степени сходства и различия между соседними популяциями. На помощь классической антропологии пришла популяционная генетика, иммуногенетика и биохимическая генетика — науки, переживающие с начала 60-х годов пору небывалого расцвета. Изучение представительного числа генетических маркеров (группы крови, в том числе и редкие, белки сыворотки, ферменты эритроцитов, аллотипы иммуноглобулинов), наследование которых подчиняется простым правилам Менделя, позволяет выявить в совокупности дискретный характер изменчивости в регионе с разнородным населением.

Чтобы оценить степень генетического сходства между двумя популяциями, необходимо сравнивать как сами гены, а точнее аллели, так и их частоты. В сумме частоты аллелей по данному генному локусу равны 1,0. Чем больше времени прошло с момента разделения одной предковой группы на две, тем меньше вероятность того, что по любому полиморфному локусу дочерние группировки будут обладать одинаковым набором аллелей,

и тем большим должен оказаться размах аллельных частот. Присутствие или отсутствие того или иного аллеля представляет более надежную основу для интерпретации филогенетических связей между популяциями, чем различия в частотах. Важно отметить, что информативность генетических данных будет тем значительнее, чем больше генных локусов изучено и чем полнее исследованы сравниваемые популяции. Далеко не все генные локусы у человека доступны или удобны для изучения; еще меньше среди них информативных, содержащих более чем два аллеля. Наиболее информативны семейства как называемых сцепленных генов, например HLA, детерминирующие антигены лейкоцитов, или система Gm, контролирующая аллотипические маркеры иммуноглобулинов G-класса. Оба локуса отвечают за наследственное разнообразие в системе иммунитета. В отличие от многих других полиморфных генетических систем крови, которые мы в дополнение ко многим другим выбрали для изучения и последующих межпопуляционных сравнений, локус Gm характеризуется неравновесным сцеплением между аллелями внутри всего семейства Gm генов, — предпочтительных гаплотипов (сложных аллелей), известных для основных рас и многих этнических групп. В частности, в Северной Азии отличительным гаплотипом является «северомонголоидный» Gm (zabst), с максимальной частотой представленный у нганасан Таймыра (см. табл.). В юго-восточной Азии и Океании таким маркером оказался «южномонголоидный Gm (fab), наиболее частый у полинезийцев (0,8). В Европе и у жителей Нового Света европейского происхождения доминирует «европеоидный» Gm (fb) гаплотип, концентрация которого варьирует в узких пределах (0,7—0,8) от одной национальной популяции к другой. Недавно в совмест-

Таблица

Частота встречаемости Gm гаплотипов в Сибири и Америке

Популяция	zag	zaxg	zabst	fb	fab	zab
Ненцы (р. Пур)	0,5	0,2	0,2	0,1	—	—
Нганасаны (Таймыр)	0,3	0,2	0,5	—	—	—
Тувинцы (Саяны)	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
Чукчи (Чукотка)	0,7	0,1	0,2	—	—	—
Азиатские эскимосы	0,8	—	0,2	—	—	—
Американские эскимосы	0,8	—	0,2	—	—	—
Индейцы Северной Америки	0,8	0,1	0,1	—	—	—
Индейцы Южной Америки	0,8	0,2	—	—	—	—

ном исследовании, проведенном советскими и американскими специалистами, показано, что живущие в географическом центре Азии тувинцы содержат необычный для Северной Сибири Gm (zab) гаплотип, который до этого считался характерным лишь для негроидов и с частотой 0,4 обнаружен у папуасов Новой Гвинеи⁶. Дополнительные исследования, однако, показали, что эти разные по своему происхождению этнические группы различаются по новым, добавочным аллелям этого же или соседнего гена иммуноглобина. Тот вариант Gm (zab), который обнаружен у тувинцев, назван «центральноазиатским». Показательно, что он отсутствует у коренного населения как Северной, так и Южной Америки.

Мы не располагаем сведениями о генофонде жителей древней Берингии, подавляющая часть которой была затоплена морем еще 10 тысячелетий назад. Его реконструкция должна опираться не только на результаты изучения генетического состава населения, живущего по обе стороны Берингова пролива с незапамятных времен. Иначе говоря, для установления генетического эталона ранней берингийской популяции следует учитывать не только генофонд и генные частоты чукчей, эскимосов, индейцев Аляски и Канады, но и генный состав индейцев Южной Америки: хронологию и особенности археологических памятников Нового Света указывают, что первоначальное заселение и освоение Южной Америки прямыми потомками берингийцев началось примерно 15 тыс. лет назад, т. е. до того как Аляска и прилегающие к ней территории Северной Америки стали местом смешения первых переселенцев с новыми пришельцами из послеледниковой Сибири, носителями новых аллелей. Более чем вероятно, что первые жители Нового Света не имели в своем генофонде «северомонголоидного» гаплотипа Gm (zabst), который обнаружен с заметной частотой у чукчей, азиатских и американских эскимосов и индейцев Аляски (атапаски). Он, однако, редок у индейцев-алгонкинов, жителей Великих Равнин и полностью отсутствует в племенах индейцев Южной Америки. Тот факт, что индейские племена Южной Америки содержат лишь два, общих для монголоидов и европеоидов гаплотипа — Gm (zag) и Gm (zaxg) —

и не содержат маркерных Gm (zabst), Gm (fab) и Gm (fb) гаплотипов, служит веским аргументом в пользу теории, по которой предки американских индейцев покинули Азию до окончательного формирования монголоидов и, тем более, до их разделения на североазиатскую и южноазиатскую ветви.

На основании полученных нами и другими авторами результатов сравнительного анализа данных по 16 полиморфным генным локусам, содержащим более 40 аллелей, можно сделать вывод, что среди народностей Сибири наибольшим генетическим сходством с индейцами обладают чукчи⁷. Нганасаны имеют такой же качественный состав аллелей, что и чукчи и индейцы Северной Америки, но отличаются от тех и других аллельными частотами. Ненцы, живущие на северо-западной периферии ареала монголоидов, как и тувинцы, обнаруживают минимальное сходство с индейцами. Интересно, что отсутствие Gm (zaxg) гаплотипа у эскимосов несколько отличает их от своих соседей, чукчей в Азии и индейцев в Америке. Против ожидания мы не обнаружили существенных различий между сибирскими и аляскинскими эскимосами. Несколько большими оказались различия между индейцами Аляски (атапасками) и алгонкинами. Наибольшими оказались различия между индейцами Центральной и Южной Америки, с одной стороны, и атапасками — с другой, предки которых были разделены Канадским ледяным щитом в ледниковое время. Алгонкины, населявшие к приходу первых европейцев весь северо-восток Северной Америки, занимают промежуточное положение. Да это и неудивительно, если учесть, что они являются продуктом смешения первой «волны» сибирских охотников на мамонта в начале (20 тыс. лет назад) и последующих в конце (12—11 тыс. лет назад) последнего оледенения.

Из недавних археологических открытий Ю. А. Мочанова в бассейне Лены известно, что 20—11 тыс. лет назад в Восточной Сибири была широко распространена дюктайская палеолитическая культура⁸. Следы этой культуры 12—11-тысяче-

⁷ Szathmary E. J. E. Year book of physical anthropology. N. Y., 1981, v. 24, p. 37; Sukernik R. I., Osipova L. P.— Hum. Genet., 1982, v. 61, p. 148; Осипова Л. П., Сукерник Р. И.— Генетика, 1984, т. 20, № 1, с. 155.

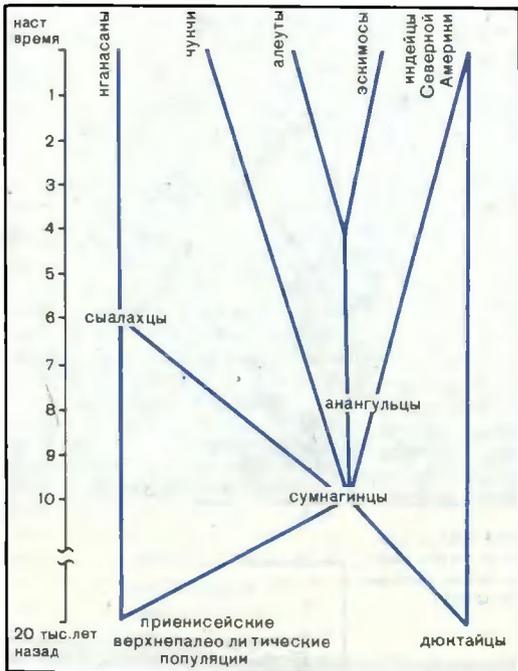
⁸ Мочанов Ю. А. Древнейшие этапы заселения человеком Северо-Восточной Азии. Новосибирск, 1977.

⁶ Schanfield M. S., Alexeeva T. E., Crawford M. H.— Hum. Hered., 1980, v. 30, p. 343.

летнего возраста обнаружены на Аляске и прилегающей к ней территории Северной Америки. Мы полагаем, что широкое расселение дюктайских охотников на мамонта и других крупных травоядных — следствие адаптивной эволюции малочисленной в начале охотничьей группы, освоившей новую территорию согласно предложенной нами модели. Учитывая вектор диффузии населения Северо-Восточной Азии в послеледниковое время, генетический эталон дюктайцев следует искать среди индейских групп Северной Амери-

тическое время в Северной Сибири распространились носители сысалахской культуры, которые в дополнение к охоте на копытных освоили речное и озерное рыболовство. Сысалахцы ведут свое начало от верхнекаменных охотников, живших в межледниковых долинах Средней Сибири. Наиболее вероятные потомки сысалахцев — юагаиры и сформировавшиеся на их основе иганасаны. Хотя непосредственные предки эскимосско-алеутской общности (жители стоянки Анангула на о-ве Анангула) сложились на южных «осколках» Берингии (Алеутские о-ва) при непосредственном участии сумнагинцев, наиболее древние следы пребывания морских охотников и собирателей найдены в Приамурье, на Сахалине, в Северной Японии⁹.

Казалось бы, с возникновением Берингова моря тысячелетия географической разобщенности и частичной репродуктивной изоляции должны были привести к значительной гетерогенности популяций, живущих по разные стороны Берингова пролива с начала голоцена. Между тем чукчи, эскимосы, индейцы Аляски и северо-западных территорий Канады обладают не только почти одинаковым генным составом, но и сходными генными частотами. Среди причин генетического сходства, кроме общих корней в происхождении, могут быть ранние и поздние смешения. В то же время нельзя исключить влияние на отдельные локусы естественного отбора, которое должны были испытывать человеческие группы, существующие на холодной окраине мира с конца плейстоцена.



Филогенетические связи предковых групп коренного населения Сибири и Америки.

ки. Несомненно, что чукчам, а тем более иганасанам, предшествовали промежуточные популяции, по своему облику и материальной культуре более близкие к дюктайцам. Но если исходить из предположения, что среди малых народностей Сибири могут быть такие, которые генетически связаны с дюктайцами, то чукчи — наиболее вероятные претенденты на эту роль. Предками чукчей были охотники на лося в лесу и северного оленя в тундре, так называемые сумнагинцы, сменившие дюктайских охотников на мамонта. В неולי-

⁹ Васильевский Р. С., Лавров Е. Л., Чан Су Бу. Культуры каменного века Северной Японии. Новосибирск, 1982.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Алексеев В. П. ГЕОГРАФИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ РАС. М.: Мысль, 1974.
 Беляев Д. К. СОВРЕМЕННАЯ НАУКА И ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА.— В сб.: Материалы III-го Всесоюзного совещания по философским проблемам современного естествознания. Вып. II. М.: Наука, 1981.

Новая газоносная провинция в Арктике

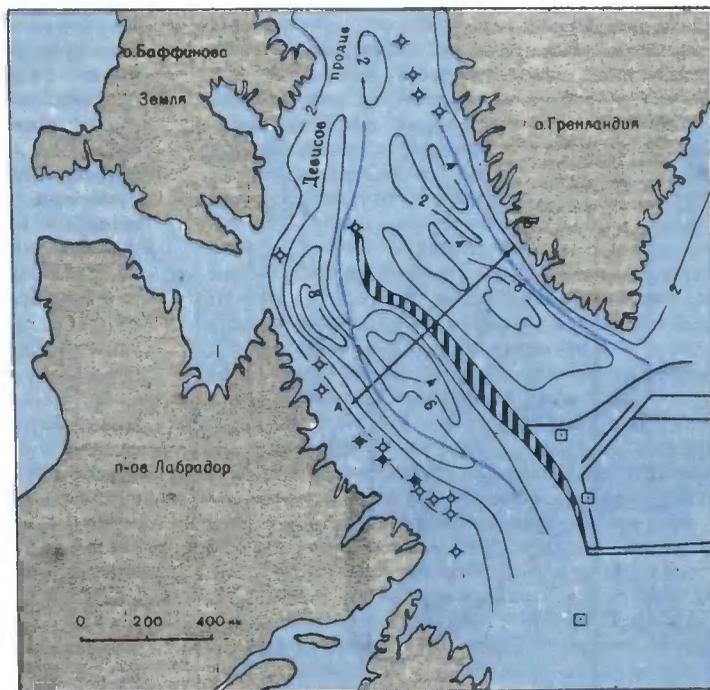
К. А. Клитти,
кандидат геолого-
минералогических наук

Геологический институт АН СССР
Москва

Поиски нефти и газа в полярном море Лабрадор начались в 70-е годы, и уже первая глубокая морская скважина, пробуренная в 1973 г., дала приток газа. При последующем бурении, проведенном силами зарубежных нефтяных фирм, здесь было открыто месторождение газа, относящееся, согласно международной классификации, к крупнейшим.

Как известно, море Лабрадор расположено между о-вом Гренландией и п-овом Лабрадор. На севере через Девисов пролив оно соединяется с Баффиновым морем, а на юге расширяется и открывается в Атлантический океан. Основные буровые работы развернулись вдоль канадской части побережья, где ширина шельфа достигает местами 200 км. Здесь пробурено 14 скважин глубиной 2—3,5 км, из которых 4 оказались продуктивными. Интересно, что все они локализованы в юго-западной части моря Лабрадор. Полоса шельфа у берегов Гренландии довольно узка и обычно не превышает 50—70 км. Ни одна из 5 пробуренных тут глубоких скважин не дала притока газа.

Открытие месторождения газа привлекло к району моря Лабрадор внимание геологов, послужило толчком к интенсивному изучению геологии бассейна, его структуры, истории развития. На всей площади моря в большом объеме были произведены сейсмические работы, включающие глубинное зондирование и непрерывное профилирование. Федеральным институтом геологических наук и природных ресурсов ФРГ сов-



Карта мощностей мезозойско-кайнозойского осадочного чехла моря Лабрадор. А—Б — линия геолого-геофизического профиля.

- Породы фундамента в обрамлении моря Лабрадор
- Лабрадорский рифт с мощностью осадочного чехла до 8 км
- Изопахиты (линии равных мощностей) осадочного чехла, в км
- Разломы
- Граница океанической коры

Шельфовые скважины:

- с притоком газа
- без притока газа
- Глубоководные скважины



местно с Атлантическим геологическим центром Канады и Гренландской геологической службой Дании был проделан целый комплекс геофизических исследований, существенно дополнивших представления о геологическом строении дна моря Лабрадор¹. Все эти сведения отличаются исключительной но-

¹ Hinz K. et al. — Tectonophysics, 1979, v. 59, № 1—4, p. 151.

визной, поскольку в предшествующие годы геологические работы в этом районе велись преимущественно на суше. Исключение составляют результаты буровых работ научно-исследовательского судна «Гломар Челленджер», пробурившего в море Лабрадор три скважины во время своего 12-го рейса в 1970 г.

В результате бурения и геофизических исследований стало ясно, что бассейн моря Лабрадор характеризуется мощным осадочным чехлом, перекрывающим гранито-гнейсовые породы или базальты. В районе канадского шельфа, где сосредоточены основные залежи газа, мощность чехла достигает 8—10 км. По данным шельфовых скважин, в 70—100 км от берега на глубине 2,5—3 км находится гранито-гнейсовый фундамент². Местами на нем залегают палеозойские доломиты, а выше располагаются маломощные покровы юрских и меловых эффузивов, которые в свою очередь перекрывают нижнемеловыми континентальными породами, представленными аркозовыми песчаниками, сланцами, пластами углей и покровами базальтов. Мощность этих континентальных толщ достигает 4 км. Далее следуют верхнемеловые породы морского генезиса. Они сложены серыми сланцами и

разрезу они сменяются 2—3-километровыми толщами коричневых карбонатных глин с прослоями эоценовых известняков. Отложения верхнего палеогена и нижнего неогена представлены серыми глинами мощностью до 1,5 км. Плиоценовые и четвертичные породы состоят из песков, конгломератов и морских морен. Суммарная их мощность равна 1,5—2 км.

Промышленные скопления газа обнаружены в четырех стратиграфических горизонтах: в палеозойских доломитах, в меловых континентальных песчаниках, в палеоценовых морских песчаниках и в морских песчаниках эоцена. Перекрывающая эти горизонты верхняя часть осадочного чехла (она сложена преимущественно глинистыми породами), вероятно, неперспективна на газ. В песчаниках содержится до 3 % органического вещества, причем наибольшее его количество сосредоточено в породах мелового возраста. Канадские геологи считают, что условия, благоприятные для образования нефти, складывались на глубине 3—3,5 км, поэтому в богатых органикой меловых породах на этой глубине возможны крупные месторождения нефти³.

Геофизические данные, накопленные за последние 5—

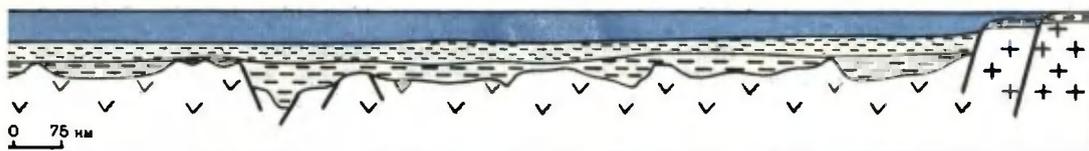
6 лет, позволили понять структуру всего бассейна моря Лабрадор. В осадочном чехле геофизиками выделены два горизонта, имеющих стратиграфическое значение. Они делят чехол на стратиграфические комплексы, прослеживаемые почти на всей площади бассейна. Методами геофизики и глубоководным бурением установлено, что в бассейне имеются два разных по составу типа фундамента: вдоль зоны шельфа повсеместно наблюдается типичный для континентов гранито-гнейсовый фундамент, а во внутренних участках моря — базальтовый фундамент, характерный для океанических районов.

Поверхность фундамента отличается сложным строением — амплитуда его рельефа местами достигает 4 км. Но все эти неровности рельефа нивелируются осадочным чехлом и могут быть выявлены только геофизическими методами. Так, у северо-восточного побережья Канады геофизиками выделен Ньюфаундлендский прогиб длиной около 1500 км и шириной до 200 км. Именно в этом прогибе и ведется глубокое промышленное бурение на газ. На юге Ньюфаундлендский прогиб сливается с системой аналогичных прогибов,

Центрально-Лабрадорское поднятие

Гренландский прогиб

Б



Сводный геолого-геофизический профиль через море Лабрадор.

Комплексы осадочного чехла:

песчаниками мощностью до 1,5 км. Еще выше залегают палеогеновые морские отложения. Это темные палеоценовые аргиллиты с прослоями доломитов и линзами хорошо отсортированных кварцевых песчаников. Мощность аргиллитов доходит местами до 4 км. Выше по

 Континентальная кора
 Океаническая кора

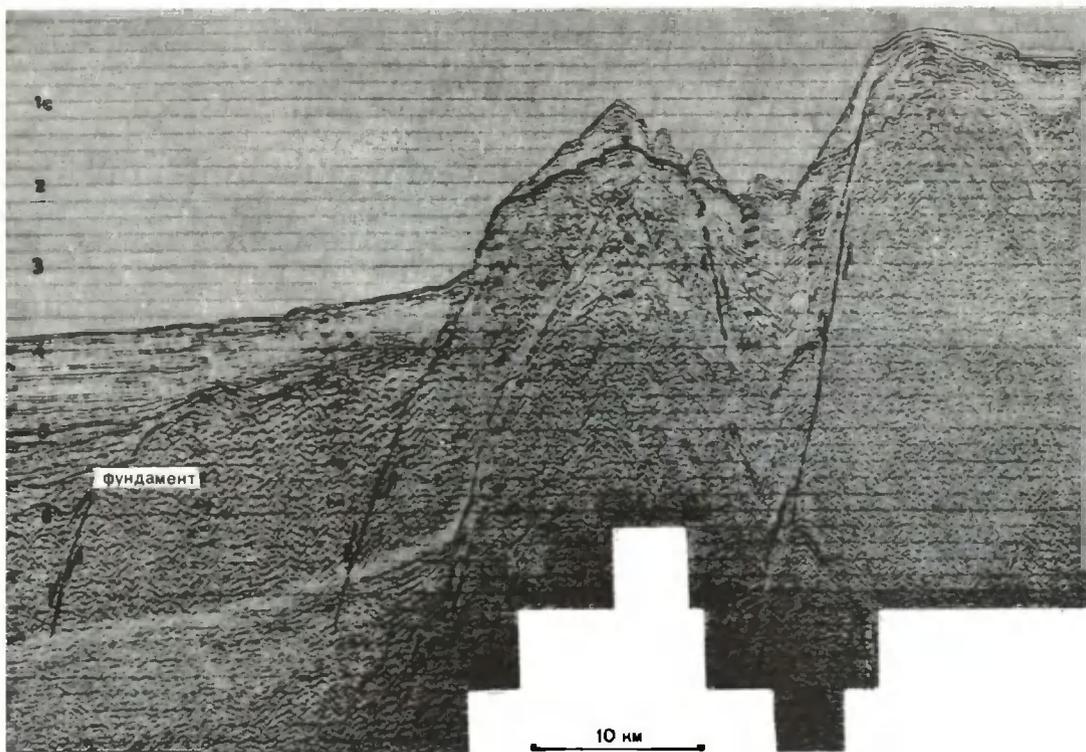
 мел-палеогеновый
 эоценовый
 олигоцен-миоценовый
 плиоцен-четвертичный

 нерасчлененный мал-миоценовый

 Разломы

² McMillan N. J.—Proc. tenth world petroleum congress. L., 1980, v. 2, p. 165.

³ Johnson G. L. et al.—Current research. Part B. Geological survey Canada, 1982, paper 82—113, p. 7.



Геофизический профиль через глыбовую зону у берегов Гренландии (по К. Хиссу и др.). На разрезе видны слои осадочного чехла и поверхность фундамента, смещенные разломами. Цифрами обозначено время распространения прямой и отраженной волн.

протянувшихся вдоль восточного побережья Америки вплоть до п-ова Флорида.

Вдоль побережья Гренландии проходит широкий Гренландский прогиб, глубина которого местами достигает 6 км. Его северо-восточный склон, образующий уступы в рельефе, расчленен на множество блоков. В центральной части бассейна вырисовывается поднятие, вдоль которого тянется длинный (900 км) и узкий (30—50 км) грабенообразный прогиб, представляющий собою древнюю рифтовую долину. В юго-восточной части бассейна поверхность фундамента воздымается, образуя подводные горные хребты, сложенные базальтами и мало-мощными осадочными отложениями.

Новые данные позволили

представить общую картину образования бассейна моря Лабрадор. Согласно им, северная часть Атлантического океана сформировалась в мезозое и кайнозое в процессе спрединга, отделившего Гренландию от Северо-Американского континента⁴. Так возник Лабрадорский бассейн, в котором хорошо выражены линейные магнитные аномалии мелового—палеогенового возраста, связанные, как принято считать, с явлениями спрединга. В процессе спрединга земная кора резко сокращалась от 40 км на континенте до 8—10 км в области морского бассейна.

Время, когда начала формироваться океаническая кора и соответственно зародился бассейн моря Лабрадор, недостаточно ясно. Вероятно, раскол континентальной коры и образование грабенов следует связывать с излияниями юрских

и меловых базальтов, обнаруженных в краевых частях бассейна. Следовательно, в юрское или меловое время началось заложение первых океанических структур. Осадочный чехол начал формироваться в меловое время, что особенно хорошо видно на примере Ньюфаундлендского прогиба. Возможно, образование органического вещества, давшего начало крупным месторождениям газа, началось именно в грабенообразных структурах на первых этапах спрединга.

Можно предположить, что дальнейшее бурение в море Лабрадор дает новые притоки газа не только в Ньюфаундлендском прогибе, но и в других крупных его структурах. По мнению ряда геологов, море Лабрадор имеет большое сходство с крупным нефтегазоносным бассейном Европы — Северным морем⁵.

⁴ Talwani M., Eldholm O.—Bul. Geol. Soc. Amer., 1979, v. 59, № 3, p. 239.

⁵ Соколов Б. А. Нефть и газ Северного моря.— Природа, 1979, № 7, с. 40.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (ноябрь — декабрь 1983 г.)

В ноябре—декабре 1983 г. в Советском Союзе было запущено 17 спутников, в том числе 14 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства. На борту биоспутника «Космос-1514» были установлены научно-экспериментальные системы с различными биологическими объектами, на которых изучалось воздействие факторов космического полета. «Космос - 1519, -1520, -1521» предназначены для отработки элементов и аппаратуры космической навигационной системы, с помощью которой предполагается определять местонахождение самолетов гражданской авиации и судов морского и рыболовного флота Советского Союза.

Цель запуска очередных спутников связи «Молния-1» и «Молния-3» — дальнейшая эксплуатация системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передача программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита».

Очередной спутник связи «Горизонт» запущен на близкую к стационарной круговую орбиту. На нем установлены усовершенствованная многоканальная бортовая ретрансляционная аппаратура для телевизионно-телеграфной радиосвязи и передачи телевизионных программ, а также необходимые служебные системы.

Таким образом, в 1983 г.

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		период, км	апогей, км	накло-нение, град	период обращения, дни
«Космос-1508»	11.XI	400	1 964	83	108,8
«Космос-1509»	17.XI	209	309	72,9	89,3
«Молния-1»	23.XI	465	39 150	62,8	702
«Космос-1510»	24.XI	1 497	1 537	73,6	116,1
«Космос-1511»	30.XI	181	368	67,2	89,7
«Горизонт»	30.XI	35 850	35 850	1,4	1439
«Космос-1512»	7.XII	208	392	72,9	90,2
«Космос-1513»	8.XII	977	1 029	83	105
«Космос-1514»	14.XII	226	288	82,3	89,3
«Космос-1515»	15.XII	648	676	82,5	97,8
«Молния-3»	21.XII	645	40 635	62,8	736
«Космос-1516»	27.XII	205	299	65	89,2
«Космос-1517»	27.XII	208	228	50,7	88,7
«Космос-1518»	28.XII	614	39 345	62,8	709
«Космос-1519, -1520, -1521»*	29.XII	19 100	19 100	64,8	674

* Спутники «Космос-1519, -1520, -1521» запущены одной ракетой-носителем.

в Советском Союзе было запущено 116 космических аппаратов, в том числе космические корабли «Союз Т-8» и «Союз Т-9», два автоматических грузовых корабля «Прогресс», автоматические межпланетные станции «Венера-15» и «Венера-16», автоматические станции «Астрон» и «Прогноз-9», 94 спутника серии «Космос», 13 спутников связи «Молния», «Экран», «Радуга», «Горизонт» и метеорологический спутник «Метеор-2».

Астрофизика

Скопления галактик сгущены сильнее, чем отдельные галактики

Известно, что как отдельные галактики, так и их многочисленные скопления распределены в пространстве весьма

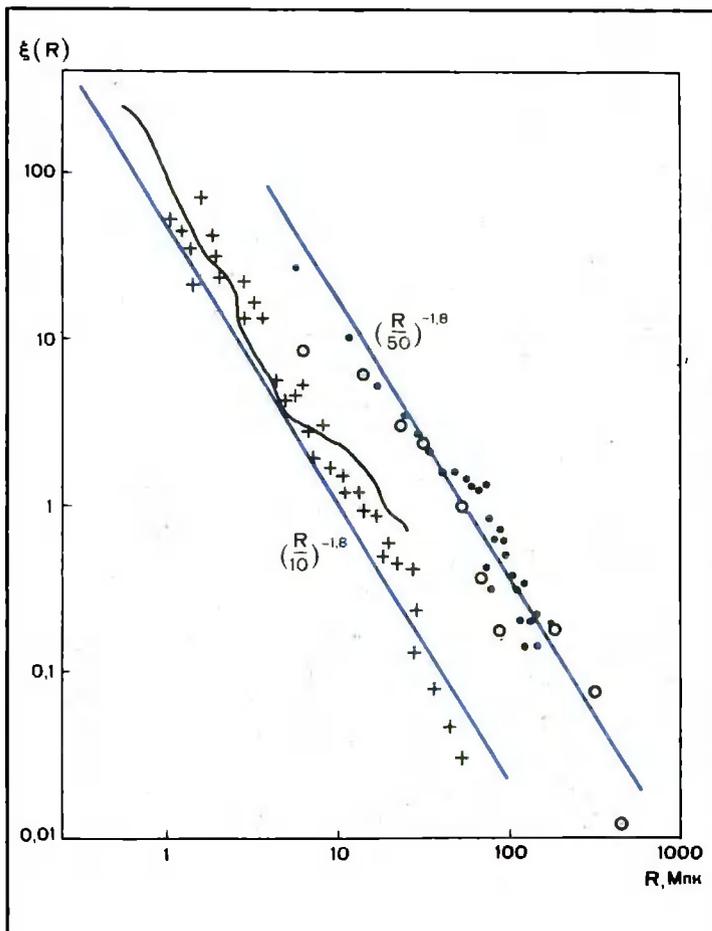
неоднородно. Однако, как показали результаты недавних исследований советских и американских астрофизиков, в масштабе свыше 10 Мпк степень сгущенности скоплений в десятки раз больше, чем галактик.

Объективной статистической мерой, количественно характеризующей сгущенность каких-либо объектов, служит двухточечная корреляционная функция $\xi(R)$, которая определяется полным числом пар объектов, разделенных расстоянием R . Если наугад выбрать один из объектов, то вероятность dP обнаружить соседа на расстоянии R от него в малом объеме dV выражается с помощью $\xi(R)$ следующим образом:

$$dP = \bar{n}(1 + \xi(R))dV,$$

где \bar{n} — средняя плотность объектов. При случайном независимом и равновероятном распределении объектов эта вероятность определяется только средней плотностью и величиной объема и не зависит от R . В этом случае корреляционная

1 Подробнее об этом см.: Биоспутник «Космос-1514». — Природа, 1984, № 3, с. 97.



Корреляционные функции ξ в зависимости от расстояния R . Рассчитанные значения корреляционных функций галактик показаны черной линией (данные Эйнасто и др.) и крестами (данные Дэвиса и Пиблса) богатых скоплений — точками (данные Клыпина, Копылова) и кружками (Бакал, Сонеира). Аппроксимационные законы изображены в виде

цветных линий $[R/10 \text{ Мпк}]^{-1.8}$ — для галактик и $[R/50 \text{ Мпк}]^{-1.8}$ — для скоплений. Обе корреляционные функции имеют степенной вид с одинаковым показателем (-1.8) , но их значения отличаются примерно в 20 раз. Все результаты получены для значения постоянной Хаббла $H_0=50 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$.

функция тождественно равна нулю при всех R .

Благодаря сравнительной простоте расчетов и наглядности результатов корреляционный анализ стали применять в исследовании крупномасштабной структуры Вселенной. Для большинства существующих каталогов галактик была рассчитана двухточечная корреляцион-

ная функция. Так, проведен корреляционный анализ первого достаточно большого каталога Центра астрофизических исследований (США), в котором наряду с угловыми координатами содержатся данные о красных смещениях для нескольких тысяч галактик. В СССР этот анализ выполнен Я. Э. Эйнасто, А. А. Клыпиным, Э. Саара и

С. Ф. Шандариным, а в США — М. Дэвисом и П. Пиблсом (M. Davis, P. Peebles).

Независимо и почти одновременно А. А. Клыпин и А. И. Копылов в СССР и Н. Бакал и Р. Сонеира (N. Bahcall, R. Soneira) в США рассчитали корреляционную функцию для богатых скоплений галактик. Советские исследователи использовали каталог, который содержит 158 скоплений всех классов богатства¹, расположенных в области с красным смещением меньше 0,08 на галактической широте выше 30° . Американские ученые основывались на данных о 104 скоплениях всех классов богатства, кроме нулевого, из которых 71 находится в Северном галактическом небе с широтой выше 30° , а остальные 33 — в Южном небе с широтой ниже -30° . Результаты обеих групп хорошо согласуются, за исключением точки при 6 Мпк, где заметно расхождение примерно в 3 раза. По-видимому, это различие объясняется тем, что советские ученые, в отличие от американских, учитывали также скопления нулевого класса богатства.

Обе корреляционные функции довольно хорошо аппроксимируются степенным законом с одинаковым показателем наклона -1.8 . Но при $R > 10$ Мпк корреляционная функция богатых скоплений примерно в 20 раз превышает корреляционную функцию отдельных галактик. Это различие пока не получило теоретического объяснения. В численных экспериментах, моделирующих образование крупномасштабной структуры Вселенной, такое различие либо совсем не возникало, либо его величина была слишком малой, чтобы объяснить наблюдения.

Препринт А-4 АН ЭстССР, 1983; Astrophysical Journal, 1983, v. 267, № 2, p. 465; Письма в АЖ, 1983, т. 9, № 2, с. 75; Astrophysical Journal, 1983, v. 270, № 1, p. 20 (США).

¹ Класс богатства скопления определяется числом входящих в него галактик. Самые маленькие скопления имеют нулевой класс богатства, самые крупные — пятый.

Астрофизика

Изменение состояния рентгеновского пульсара Her X-1

В июле 1983 г. европейская рентгеновская обсерватория «EXOSAT», выведенная на орбиту Земли в мае того же года¹, приступила к наблюдениям Her X-1 — рентгеновского пульсара в созвездии Геркулеса, наиболее яркого рентгеновского источника нашей Галактики. Оказалось, что за время, прошедшее с момента наблюдения японской обсерватории «Тенма» (май 1983), Her X-1 резко изменил свой режим — стал не наблюдаем. В августе 1983 г. данные «EXOSAT» были подтверждены наблюдениями с советского спутника «Астрон».

Согласно современным представлениям, рентгеновский пульсар Her X-1 — быстро вращающаяся нейтронная звезда, входящая в состав тесной двойной системы. Источником активности нейтронной звезды является вещество, перетекающее от второго, видимого компонента системы и падающее на нейтронную звезду. Выделяющаяся при падении гравитационная энергия излучается в рентгеновском диапазоне, а вращение нейтронной звезды и ее сильное магнитное поле придают излучению характер быстропериодических, с периодом 1,24 с, пульсаций. Кроме того, наблюдаются периодические (1,7 дня) затмения рентгеновского излучения, связанные с орбитальным движением в двойной системе. Рентгеновское излучение нейтронной звезды по мощности более чем в 100 раз превосходит светимость видимого компонента системы. Его сторона, обращенная к рентгеновскому источнику, прогревается рентгеновским излучением, поэтому она в 3 раза ярче противоположной стороны (так называемый эффект горячего пятна). О наличии пятна можно судить

по характеру переменности оптического излучения.

Помимо рентгеновских затмений и пульсаций, период которых относительно мал, рентгеновская светимость Her X-1 регулярно менялась с периодом 35 дней. В течение этого времени источник находился либо во «включенном» состоянии, в котором рентгеновская светимость очень велика, либо в «выключенном» состоянии, когда поток рентгеновского излучения значительно уменьшался. Однако нагрев оптической звезды рентгеновским излучением не прекращался, и наблюдения в оптическом диапазоне свидетельствовали о том, что на поверхности второго компонента горячее пятно не исчезает. Это означает, что изменился не столько сам источник, сколько условия его наблюдения. Считается, что излучение нейтронной звезды закрывается от наблюдателя аккреционным диском, в котором вещество вращается по круговым кеплеровским орбитам и медленно движется к его центру — нейтронной звезде. (Существование аккреционного диска в Her X-1, а также горячего пятна и подогрева оптической звезды рентгеновским излучением было предсказано В. М. Лютым, Р. А. Сюняевым и А. М. Черепашуком²). Оказалось, что ориентация оси вращения диска меняется со временем. Поэтому в определенные моменты 35-дневного цикла нейтронная звезда действительно закрывается от наблюдателя диском.

Первые же попытки наблюдать Her X-1 в июле 1983 г. оказались безуспешными — переход из «выключенного» состояния во «включенное» в предсказываемое время не произошел. Дальнейшие наблюдения (июль—август—сентябрь) показали, что источник по-прежнему остается невидимым. Одновременно с рентгеновскими были проведены наблюдения в оптическом диапазоне (группы В. М. Лютого на Южной станции ГАИШа, Крым, и

А. М. Черепашука, Высокогорная экспедиция ГАИШа). Сколько-нибудь заметного изменения в режиме нагрева оптической звезды не произошло. Звезда выглядит так, как если бы источник все время находился в «выключенном» состоянии. Остается предположить, что нейтронная звезда теперь все время закрыта аккреционным диском. Однако причины столь резкого изменения в состоянии двойной системы пока неясны.

Телеграммы Международного астрономического союза, 1983, № 3841, 3582.

Астрономия

Еще одна солнечная система!

Анализируя данные приборов американо-англо-голландского спутника «ИРАС», направленных на звезду Вега, группа специалистов во главе с Х. Оманном (H. Aumann; Лаборатория реактивного движения, Пасадена, штат Калифорния, США) и Ф. Жиллетом (F. Gillett; Китт-Пикская национальная обсерватория, штат Аризона, США), обнаружила, что инфракрасное излучение Веги значительно более интенсивное, чем следует ожидать от звезды ее типа и при свойственной ей температуре около 10 тыс. К. В диапазоне 25 мкм интенсивность этого излучения превышает характерную величину для звезды подобного типа в 1,3 раза, в диапазоне 60 мкм — в 10 раз и при 100 мкм — примерно в 20 раз.

Источником излучения оказалась область поперечником около 12 млрд км вокруг собственно Веги, т. е. пространство, примерно вдвое превышающее по размерам Солнечную систему. Судя по излучению, температура источника составляет 88 К, отсюда сделан вывод, что энергия, возможно, переизлучается «оболочкой» из твердых частиц, выброшенных Вегой.

По мнению Ч. Байхмана (C. Beichman; Лаборатория реак-

¹ Подробнее об этом см.: «EXOSAT». — Природа, 1983, № 10, с. 101.

² Лютый В. М., Сюняев Р. А., Черепашук А. М. — Астрон. ж., 1974, т. 51, с. 1150.

тивного движения), если бы «оболочка» была образована мельчайшими пылевыми частицами, она бы вскоре оказалась «сдута» давлением излучения Веги; немного более крупные частицы неизбежно обрушились бы на поверхность звезды. Поэтому предполагается, что «оболочка» состоит из частиц диаметром не менее нескольких миллиметров.

Если основываться на моделях, описывающих образование нашей Солнечной системы, то наблюдаемая вокруг Веги «оболочка» должна сопровождаться определенным числом значительно более крупных тел. Если их распределение в Солнечной системе и вокруг Веги аналогично (что весьма вероятно), то триллионам мелких частиц должны соответствовать тысячи тел размерами от дробинок до астероида (диаметр которых колеблется от километров до десятков километров). В таком случае общая масса системы Веги должна быть сравнима с массой Солнечной системы.

Итак, вокруг еще одной звезды, помимо Солнца, по-видимому, имеется скопление твердых тел значительных размеров. Предполагается, что там идет процесс образования планетной системы, сходной с нашей.

Science News, 1983, v. 124, № 7, p. 100; № 8, p. 116 (США).

Физика

Кандидат в глоболы

В совместном эксперименте Института физики высоких энергий (ИФВЭ, Протвино) и Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН, Женева) обнаружен новый мезон, природа которого пока неясна. Возможно, он состоит не из кварков, а из глюонов — частиц, переносящих «цветовые» взаимодействия между кварками. Согласно квантовой хромодинамике, глюоны сами являются цветными объектами и могут взаимодействовать друг с другом. Поэтому должны существовать связанные состояния глюонов — глоболы (иногда также

пользуются термином «глюоний»). Предполагается, что простейшие глоболы состоят из двух или трех глюонов. Однако до настоящего времени глоболы остаются «игрой ума», гипотетическими частицами.

Эксперимент, о котором идет речь, выполнен на ускорителе ИФВЭ под руководством Ю. Д. Прокошкина. Пучок π^- -мезонов, ускоренных до энергии 38 ГэВ, взаимодействовал с протонами мишени. Велся поиск реакции, в которой протон превращается в нейтрон и одновременно рождается какая-то нейтральная частица. Присутствие этой частицы обнаруживается по ее распадам. Среди 10 млн записанных на магнитные ленты событий искались и такие, в которых рождавшаяся нейтральная частица распадалась на пару η -мезонов; η -мезоны — нейтральные частицы, распадающиеся на пионы или на два γ -кванта. Последний распад и использовался для поиска нужных событий.

Итак, изучалась реакция:



Четыре фотона, появляющиеся в конце этой цепочки распадов, регистрировались спектрометром ГАМС-2000, измеряющим одновременно координаты и энергии большого числа γ -квантов. По этим данным можно восстановить импульсы и энергии распадающихся частиц. Из всех событий были выделены те, в которых фотоны можно разбить на пары так, чтобы полная энергия каждой из пар равнялась массе η -мезона. Всего было найдено 13 тыс. таких событий. О них на этом этапе обработки известно только, что они содержат искомую пару η -мезонов. Но возникли ли эти η -мезоны в результате распада какой-то нейтральной частицы? На этот вопрос ответил дальнейший анализ спектра масс и угловых распределений пары η -мезонов. Было найдено, что в спектре масс пары $\eta\eta$, имеющих нулевой угловой момент относительного движения, отчетливо проявляется пик. Он свидетельствует о рождении на промежуточном этапе частицы с массой, соответствующей положению пика, и квантовыми числами, определя-

емыми состоянием пары η -мезонов. Масса частицы оказалась равна 1592 ± 25 МэВ. Так как сами η -мезоны имеют нулевой спин и наблюдались в состоянии с нулевым угловым моментом, то спин частицы равен нулю и она является мезоном. Пространственная четность такого состояния η -мезонов положительна, поэтому положительна и четность частицы — она является скалярным мезоном.

Авторы обозначили новый мезон G (1590); живет он примерно $3 \cdot 10^{-24}$ с. Относительная вероятность его распада на пару π^+ -мезонов по крайней мере в три раза меньше, чем на η -мезоны. Аналогичные данные получены относительно распада G на странные K -мезоны. Этого не было бы, если бы G -мезон состоял из обычных кварков. Отвергается даже гипотеза, что G может быть экзотическим связанным состоянием четырех кварков. По мнению авторов, свойства распадов G -мезона нельзя объяснить в рамках двухкварковой или четырехкварковой схемы. Поэтому нужно искать другие структурные схемы и, в частности, рассматривать эту частицу как возможного кандидата в глюоний. Кроме того, в мезонных мультиплетах уже заполнены места с такими квантовыми числами, как у G -мезона.

Новый мезон — не первый кандидат в глоболы. В литературе обсуждается еще несколько частиц с другими квантовыми числами. Теория также не слишком балует нас своими предсказаниями свойств глоболов; аналитически получены лишь грубые оценки их масс. Для глобола с квантовыми числами G -мезона получены значения массы 0,7—1,4 ГэВ, что заметно меньше массы G -мезона. Быть может, новый мезон не является «чистым» глоболом, а представляет собой более сложное образование, составленное из глюонов и кварков. Во всяком случае, и теоретикам, и экспериментаторам есть над чем потрудиться, прежде чем будет решен один из интереснейших вопросов современной физики элементарных частиц.

Препринт Института физики высоких энергий, ЭФ 83—84. Серпухов, 1983.

Физика

Радиодетектирование нейтрино и мюонов

В последние десятилетия усиленно разрабатываются крупномасштабные детекторы редких космических частиц сверхбольших энергий, поскольку они могут дать информацию о процессах в звездах и межзвездной среде. Именно поэтому были созданы проекты регистрации ливнев вторичных частиц, рождаемых космическими частицами, с помощью световых вспышек и звуковых импульсов от них в глубинах океана и в больших объемах вещества¹.

В начале 60-х годов Г. А. Аскарьян (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР) показал, что в ливнях вторичных частиц должен существовать избыточный движущийся отрицательный заряд, связанный с вовлечением в движение электронов среды (вторичные дельта- и комптон-электроны), и что этот заряд может давать интенсивные всплески радиоизлучения². Число частиц избыточного заряда может достигать 10—20 % от полного числа частиц ливня. Образование и движение такого заряда должно дать когерентное радиоизлучение, например, из-за черенковского механизма. Когерентность в диапазоне длин волн, превосходящих размеры густка частиц, приводит к среднему увеличению интенсивности этого радиоизлучения и позволяет регистрировать его на больших расстояниях, если среда не сильно поглощает в этом диапазоне длин волн. Для регистрации редких частиц с высокой проникающей способностью, например μ -мезонов и др., Аскарьян предложил использовать природные слои — лед, вечную

мерзлоту, сухие породы, которые слабо поглощают радиоволны.

Как показали недавно Г. А. Гусев и И. М. Железных (Институт ядерных исследований АН СССР), метод регистрации, предложенный Аскарьяном, весьма эффективен для регистрации нейтрино и μ -мезонов больших энергий. Обнаруженное недавно крайне слабое поглощение радиоволн во льду (глубина поглощения около 1 км при температурах от -30 до -50°C)³ позволяет использовать большие массивы льдов, например, Антарктиды и Исландии (особенно глетчерные льды) для создания гигантских детекторов нейтрино. Радиоизлучение предполагается регистрировать с помощью системы антенн, расположенных на поверхности льда.

Высокий уровень техники радиогляциологических исследований облегчает реализацию этого метода.

Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 38, № 10, с. 505—507.

Физика

Кристаллический полупроводник превращается в аморфный

Недавно несколько групп исследователей наблюдали исчезновение кристаллической структуры (аморфизацию) в приповерхностном слое кремния под действием импульсного лазерного излучения. Это новый способ изменения свойств полупроводниковых материалов, позволяющий создавать аморфные полупроводники, свойства которых сильно зависят от способа получения.

Образование аморфной фазы обусловлено плавлением тонкого (10^{-8} м) слоя вблизи поверхности кристалла и последующим его быстрым охлаждением: чрезвычайно высокие, до 10^{13} К/с, скорости охлаждения превышают скорость кристаллизации, поэтому разрушенная



Фотография поверхности кристалла арсенида галлия. Отчетливо различимы центральная и периферийная (кольцевая) области, разделенные темным кольцом (интерференционный минимум). Аморфизация происходит на периферии лазерного пятна.

кристаллическая решетка кремния не успевает восстановиться.

Как показали эксперименты, аморфизация в кремнии возможна лишь в сравнительно узком интервале значений плотности энергии излучения; зависит она также от длины волны излучения и ориентации кристалла. Так, при облучении кремния импульсами с длиной волны 0,53 мкм (оптический диапазон) аморфизация наблюдалась лишь вдоль кристаллической оси [111]. Скорость кристаллизации вдоль других осей выше, и добиться аморфизации полупроводника в этих направлениях можно, если использовать ультрафиолетовое излучение, которое поглощается в более тонком слое, остывающем быстрее.

Группа под руководством Ж. И. Алферова (Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе АН СССР) исследовала аморфизацию кристаллов арсенида галлия и кремния, впервые применив интерференционную картину, полученную с помощью неодимового лазера (длительность импульса 60 нс, длина волны 0,53 мкм).

Анализ облученных образцов свидетельствует о наличии в центральной части светового пятна заметного (глубиной 0,2—0,3 мкм) рельефа, не наблюдаемого на периферии. Рельеф обусловлен сохранением кристаллической структуры в

¹ Подробнее об этом см., напр.: Березинский В. С. Проект «Дюмаид». — Природа, 1976, № 11, с. 28; Долгошеин Б. А. Звук от нейтрино. — Природа, 1978, № 8, с. 84.

² Аскарьян Г. А. — ЖЭТФ, 1961, т. 41, № 2, с. 616; 1965, т. 48, № 3, с. 988.

³ Богородский В. В. и др. Радиогляциология. Л., 1983.

центральной области, где плотность энергии выше, глубина плавления (и время существования расплавленной фазы) больше, а следовательно, скорость остывания меньше, чем на периферии, т. е. упорядоченность кристаллической решетки успевает восстановиться. Таким образом, существование двух характерных областей связано с аморфизацией кристалла только на периферии пятна.

В опытах впервые зарегистрирована аморфизация кремния видимым светом в направлении [100] и сопоставлены значения плотности энергии, необходимые для аморфизации, в различных веществах. Для арсенида галлия диапазон этих значений примерно в 8 раз шире, чем для кремния (при средних значениях плотности энергии около $0,2 \text{ Дж/см}^2$).

Письма в ЖТФ, 1983, т. 9, вып. 15, с. 897.

Физика

Силикагель в лазере

В последнее время наиболее перспективными для различных технологических целей зарекомендовали себя электроионизационные лазеры на углекислом газе. Для широкого промышленного внедрения таких систем необходимо решить проблему регенерации лазерной смеси. Неожиданно ее помог решить силикагель — сильно поглощающее вещество, часто используется в технике.

В рабочей смеси, состоящей из CO_2 , N_2 и He, в основном нужно регенерировать гелий. До сих пор его обновляли в замкнутом газодинамическом контуре; потребление гелия составляло 30—50 мг/с на 1 кВт мощности лазера, что весьма дорого. Использовались также безгелиевые смеси, однако в результате выходная мощность уменьшалась на 30—40%. Кроме того, проводили каталитическую регенерацию (восстановление состава смеси с помощью палладиевого катализатора), однако она не обеспечивала полного восста-

новления начальной мощности лазера.

А. П. Аверин, Н. Г. Басов и др. (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР) для снижения деградации лазерной смеси предложили использовать адсорбцию электроотрицательных примесей, образующихся в лазерном разряде, силикагелем, введенным в газодинамический контур. Эксперименты проводились на универсальном технологическом CO_2 -лазере со средней мощностью 10 кВт. Кювета с силикагелем имела объем около 6 л, состав лазерной смеси $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 30 : 29$ и $1 : 15 : 14$. Применение силикагеля снижало скорость деградации лазерной смеси в 20—30 раз.

Поскольку со временем силикагель насыщается вредными для лазерной генерации примесями, его необходимо изредка восстанавливать; для этого его нагревают при непрерывной вакуумной откачке. Энергозатраты на восстановление силикагеля на порядок ниже, чем энергия, потребляемая каталитическим регенератором.

Квантовая электроника, 1983, т. 10, № 6, с. 1264—1267.

Физика

Мощность лазера двенадцать ватт

В сентябре 1983 г. в Лос-Аламосе (США) проведены испытания крупнейшего в мире CO_2 -лазера «Антарес». Он состоит из двух двенадцатипучковых усилителей (помимо задающего генератора); и вот первый из них дал на выходе импульс энергией 12 кДж и длительностью 1 нс, что соответствует световой мощности 12 ТВт ($1,2 \cdot 10^{13} \text{ Вт}$).

«Антарес» является усовершенствованным вариантом своего предшественника — восьмипучкового лазера «Гелиос» с общей мощностью 10 ТВт. Оба лазера сооружены по программе лазерного инерциального термоядерного синтеза. По проекту, энергия, доставляемая

на мишень, должна достигать в «Антаресе» 40 кДж. Затраты на создание этой установки составили свыше 60 млн долл.

Laser Focus, 1983, v. 19, № 11, p. 6 (США).

Молекулярная биология

Клонирован ген урокиназы человека

П. Ханг (P. Hang; Исследовательская лаборатория Гейтсбургга, штат Мэриленд, США) сообщил о клонировании человеческого гена, кодирующего фермент урокиназу, который катализирует превращение плазминогена в плазмин. Плазмин обладает протеолитической активностью, способствуя растворению тромбов и предотвращая их образование.

Уже давно было установлено, что введение урокиназы в кровь вызывает быстрое растворение тромбов. Однако попытки выделить урокиназу из мочи или культуры клеток почек человека оказались малоэффективными из-за низкого выхода фермента и, как следствие, — его высокой стоимости. В связи с этим возникла задача получить урокиназу с помощью методов генной инженерии. Общая схема этого процесса была обычной для клонирования различных генов: вначале выделяли фрагмент ДНК человека, содержащий ген урокиназы, включали его в состав плазмиды, способной с высокой частотой проникать в клетки кишечной палочки *E. coli* и автономно реплицироваться в ней (т. е. обеспечивать образование собственных копий); затем проводился отбор клонов кишечной палочки, вырабатывающих урокиназу человека.

В качестве источника генного материала Ханг использовал почки человеческих эмбрионов. В кишечной палочке, содержащей плазмиду со вставкой ДНК человека, происходил синтез предшественника урокиназы, который после незначительных модификаций превращался в активный фермент; правда, он

в отличие от естественной урокиназы не содержит углеводных компонентов. Тем не менее образующаяся в кишечной палочке урокиназа обладала характеристиками, свойственными урокиназе, вырабатываемой в организме человека: она взаимодействовала с антителами к урокиназе и имела высокую фибринолитическую (растворяющую фибрин) активность.

Помимо кишечной палочки, для образования активной урокиназы можно использовать и другие микроорганизмы: дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, бактерии *Bacillus subtilis* и нейроспора *Neurospora crassa*.

Разработанный Хангом метод может быть использован для получения больших количеств активной урокиназы человека.

Proceedings of the 4-th International Symposium on Genetics of Industrial Microorganisms, Kyoto — Tokyo, 1983, p. 209—221 [Япония]; United State Patent № 4370417, 1983 (США).

Биохимия

Синтезирован ген проинсулина человека

Белковая молекула инсулина — гормона поджелудочной железы, регулирующего процессы углеводного обмена в организме, состоит из двух полипептидных цепей А и В, связанных между собой дисульфидными мостиками. А-пептид содержит 21, а В-пептид — 30 аминокислотных остатков. Биосинтетическим предшественником (или прогормоном) инсулина является проинсулин. Макромолекула проинсулина человека представляет собой полипептидную цепь из 86 аминокислотных остатков, в состав которой входят три последовательно соединенных пептида: А-пептид, С-пептид (35 аминокислотных остатков) и В-пептид. В организме инсулин вырабатывается в результате ферментативного отщепления от проинсулина С-пептида.

Ю. А. Овчинников, В. А. Ефимов и О. Г. Чахмахчева (Институт биоорганической

химии им. М. М. Шемякина АН СССР) осуществили химико-ферментативный синтез и клонирование гена проинсулина человека. Нуклеотидную последовательность этого синтетического гена устанавливали, исходя из известной структуры гена проинсулина крысы; гены проинсулина крысы и человека различаются 14 триплетами. Триплеты в гене проинсулина крысы были заменены триплетами, которые кодируют соответствующие аминокислоты, входящие в макромолекулу проинсулина человека.

Общая конструкция синтетического гена проинсулина человека предусматривала возможность его включения в состав бактериальной плазмиды и клонирования.

Доклады АН СССР, 1983, т. 270, № 3, с. 743—747.

Вирусология

Способ лечения многих болезней!

Как стало известно в последние годы, активность вируса гриппа зависит от структурного состояния гемагглютинина, находящегося на поверхности каждой вирусной частицы (вириона)¹. Если гемагглютинин расщеплен протеолитическим ферментом клеток хозяина на два полипептида — HA 1 и HA 2, инфекционная активность вириона повышается в 10 тысяч раз. Такой механизм усиления инфекционности вируса называют протеолитической активацией.

Основываясь на том, что механизм развития гриппа обусловлен протеолитической активацией, исследователи из Института вирусологии им. Д. И. Иванова АМН СССР изучили возможность предотвратит или приостановить инфекцию гриппа, вводя в организм подопытных цыплят ингибиторы проте-

аз². В качестве ингибиторов использовались α-амино-н-капроновая кислота и контрикал — ингибитор широкого спектра действия, получаемый из легочной ткани животных.

Уже на третьи сутки после внутримышечной инъекции экспериментальных цыплят, зараженных вирусом гриппа через дыхательные пути, вирус обнаруживался только в первичном очаге заражения — в легких, и то нерегулярно; у контрольных животных, которым ингибиторы не вводили, вирионы были обнаружены во всех органах, которые обследовались в эксперименте. Поскольку одной группе цыплят ингибиторы протеаз вводили через 3—5 ч после заражения вирусом, а другой — через 72 ч, когда инфекция успевала бурно развиваться, вывод очевиден: с помощью ингибиторов протеаз можно не только предупредить развитие инфекции, но и приостановить уже возникшую болезнь.

Протеолитическая активация, как установлено, характерна для вирусов гриппа А-, В- и С-типов, поэтому предлагаемый подход может быть универсальным для лечения вирусной инфекции любого из этих типов и у человека, и у животных. Кроме того, метод может оказаться эффективным и для лечения других заболеваний, возбудители которых аналогичны или сходны по механизму активации с вирусом гриппа. Известно, например, что активация токсинов болезнетворных для человека бактерий также зависит от протеолитических ферментов; следовательно, и бактериальные инфекции можно, по видимому, лечить с помощью ингибиторов протеаз.

Ингибиторы протеаз имеются в клетках и тканях всех живых организмов, и одна из функций ингибиторов — защита от инфекций. Например, белковые ингибиторы растительных семян принимают участие в их защите при прорастании, на ранних стадиях прорастания семян, а

¹ См., напр.: Бергельсон Л. Д. Рецепция вируса гриппа. — Природа, 1983, № 3, с. 10.

² Жирнов О. П., Овчаренко А. В., Букринская А. Г., Жданов В. М. — Доклады АН СССР, 1983, т. 270, № 6, с. 1483.

также предохраняют корни растений от поражения фитопатогенными микроорганизмами³.

Уже сейчас ингибиторы применяются в медицине для лечения некоторых заболеваний, обусловленных повышенной активностью протеаз⁴.

Л. П. Белянова,
кандидат химических наук
Москва

Биохимия

Механизм развития болезни Шагаса

Американский трипаносомоз, или болезнь Шагаса, широко распространен в странах Центральной и Южной Америки. От больного человека к здоровому болезнь передается поцелуйными клопами (они кусают спящих людей обычно около губ, отсюда и их название). Возбудитель заболевания — *Трупаосома cruzii* — в организме человека и животных, вначале не размножаясь, обитает в крови (стадия трипомастиготы), а затем проникает в органы, где начинает интенсивно размножаться, разрушая клетки (стадия амастиготы).

Механизм развития болезни Шагаса до сих пор изучен мало. М. Перейра (М. Pereira; Медицинский центр г. Бостона, США) изучил патогенез этого заболевания. Он предположил, что определенное участие в развитии болезни должен принимать фермент нейраминидаза, синтезируемый *T. cruzii*. Нейраминидаза отщепляет сиаловые кислоты от различных субстратов, а, как известно, эти кислоты вовлечены во многие физиологические процессы, протекающие внутри организма. Так, отщепление сиаловых кислот с поверхности эритроцитов и белков крови

резко влияет на их функции и приводит к удалению их из кровотока. Нейраминидаза способна нарушать деятельность клеток сердца, а именно эти клетки в первую очередь поражаются при болезни Шагаса. Как удалось установить Перейра, нейраминидазная активность *T. cruzii* сильно меняется на разных стадиях развития паразита. Наибольшая активность этого фермента наблюдалась на стадии трипомастиготы, наименьшая — на стадии амастиготы. По-видимому, нейраминидаза играет важную роль в прикреплении и проникновении трипомастигот внутрь клеток. Нейраминидаза, синтезируемая *T. cruzii*, удаляла сиаловые кислоты с поверхности эритроцитов человека различных групп крови, когда на эти клетки действовали культурой трипомастигот вне организма; аналогичным было ее действие на эритроциты мышей, зараженных возбудителем болезни Шагаса. Это в какой-то мере объясняет наблюдаемое при болезни Шагаса снижение в крови количества эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов и гемоглобина.

Способность синтезировать нейраминидазу присуща широкому кругу микроорганизмов — бактериям, вирусам и т. д. Исследование механизма заболеваний, вызываемых этими возбудителями, привело многих авторов у нас в стране и за рубежом к заключению, что нейраминидаза прямо или косвенно влияет на развитие различных инфекционных процессов — гриппа, холеры, пневмонии и пр. Эти данные еще раз подтверждают предположение Перейры о возможном участии нейраминидазы *T. cruzii* в развитии болезни Шагаса.

Science, 1983, v. 219, № 4591,
p. 1444 (США).

Психофизиология

Мигание при умственной деятельности

Американские психологи Дж. Вуд и Дж. Хэссет (J. Wood, J. Hasset; Бостонский

университет) детально исследовали факторы, влияющие на частоту мигания при умственной деятельности (решении задач). Задачи, которые предлагались испытуемым, были классифицированы по трем параметрам: легкие или трудные; построенные на цифровом или на буквенном материале; требующие внимания к внешним сигналам или к собственной памяти (направленности внимания «вовне» или «вовнутрь»).

Как оказалось, основной фактор, влияющий на частоту мигания, — это сложность деятельности: решение более трудной задачи во всех случаях сопровождалось значительно более частым миганием. Буквенные задачи вызывали более частое мигание, чем цифровые; поскольку очень трудно уравнять по сложности задачи с разными содержанием, экспериментаторы предположили, что и этот факт связан с большей сложностью лингвистического материала по сравнению с арифметическим.

Еще один фактор, определяющий частоту мигания, — направленность внимания — действует только при относительно простой умственной деятельности: направление внимания «на себя» увеличивает частоту мигания по сравнению с вниманием к внешним сигналам. Однако при усложнении задачи общее повышение частоты мигания стирает все различия, связанные с направленностью внимания.

Psychophysiology, 1983, v. 20, № 1,
p. 18—20 (США).

Психофизиология

Субъективность восприятия и ее объективный индикатор

Известно, что на поверхности головы в случае появления какого-либо раздражителя можно зарегистрировать специфическую группу электрических колебаний — так называемый

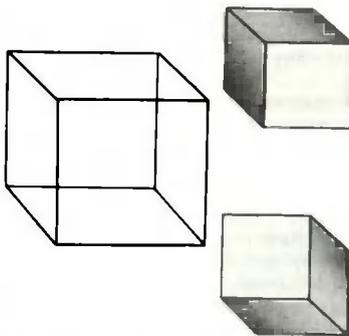
³ Hwang D. L. et al.—
Plant. Physiol., 1978, v. 61,
p. 30.

⁴ См., напр.: Веремеенко К. Н. Ферменты протеолиза и их ингибиторы в медицинской практике. Киев, 1971.

вызванный потенциал¹. Данные экспериментов свидетельствуют, что в этих потенциалах отражаются не только физические характеристики раздражителя, но и — главным образом — субъективные аспекты его восприятия.

В эксперименте группы английских физиологов² испытуемым медленно зачитывали фразы «It was lead» и «It was led», которые звучат совершенно одинаково, но в первом случае слово «lead» — существительное «свинец», а во втором — «led» — страдательная форма глагола «вести». Испытуемый нажимал ту или иную кнопку в зависимости от того, как воспринимал фразу. Конфигурации вызванных потенциалов в этих двух случаях существенно различались, особенно при регистрации в области левого виска, где расположены зоны, ответственные за восприятие и анализ речевых сигналов. Не совсем ясно, правда, определялось ли это общим контекстом фразы или же тем, какой частью речи являлось данное слово; важно, однако, что физические свойства стимула (его амплитудно-частотные характеристики) не менялись.

Сходные данные недавно получены в Институте физиологии АН ЧССР, Прага³. Экспериментаторы демонстрировали испытуемому изображение куба Неккера, который можно воспринимать либо «слева сверху», либо «справа снизу» (см. рис.). Рисунок куба показывали в течение 0,05 с, а испытуемый, в зависимости от того, как воспринимал изображение, переключал ручку на пульте влево или вправо. Как и в упомянутом



Куб Неккера (слева) и два возможных субъективных его восприятия (справа).

выше исследовании, один и тот же по своим объективным характеристикам стимул вызывал разные электрические ответы мозга, если воспринимался по-разному.

У американских психофизиологов⁴ стимулом служила короткая вертикальная черта, которая чередовалась либо с цифрой 2 (и воспринималась как цифра 1), либо с буквой К (и воспринималась как буква I). Во всех зонах, кроме затылка, вызванные потенциалы в обеих ситуациях были различны, несмотря на идентичность стимула. Напротив, вызванные потенциалы на стимулы, одинаковые по значению, но различны по объективным характеристикам (например, буквы А и а или Е и е), отличались только в затылочной области, а в других зонах были идентичны. Авторы полагают, что анализ конфигурации зрительного стимула проводится, по-видимому, в затылочной зоне коры мозга, а «извлечение смысла» — в височно-теменных зонах.

Как показали работы советских специалистов⁵, вызван-

ные потенциалы удается зарегистрировать даже тогда, когда стимула вообще не было, но испытуемый считал, что он должен был быть. Так, если в ряду стимулов, повторяющихся с правильным интервалом, возникает пропуск, в этот момент регистрируется комплекс электрических колебаний: две полуволны в ситуации отвлечения внимания от звуков (испытуемый читает книгу) и три — в ситуации привлечения внимания (испытуемого просили считать пропуски стимулов).

Отношение к стимулам также влияет на характеристики вызванных потенциалов. Так, слова, непосредственно связанные с конфликтной для человека ситуацией, вызывают потенциалы, отличающиеся по амплитуде и по локализации на поверхности головы, от потенциалов, вызванных нейтральными словами. Особенно интересно, что различия между «нейтральными» и «конфликтными» потенциалами максимальны в том случае, когда слова предъявляются очень быстро и испытуемый не успевает их опознать (бессознательная эмоция)⁶.

В одном из экспериментов изучались изменения вызванных потенциалов при повторении неприятных (громких) звуков. Было обнаружено, что у лиц, «терпимо» относящихся к стимулам, повторение звука вызывало уменьшение амплитуды потенциала и, напротив, у тех, кто считал звук очень громким и невыносимым (хотя фактически он был одинаковым), амплитуда повышалась⁷.

По-видимому, вызванные потенциалы можно рассматривать как объективный индикатор ряда субъективных аспектов восприятия.

Б. И. Кочубей, кандидат психологических наук

Москва

¹ Подробнее см.: Отражение процесса внимания на энцефалограмме. — Природа, 1980, № 3, с. 114; Вызванные потенциалы мозга — ценный диагностический признак. — Природа, 1982, № 8, с. 110.

² Brown W. S. et al. — Electroencephalography J. and Clinical Neurophysiol., 1979, v. 46, № 6, p. 709.

³ Радилова Я., Радил Т. — Физиол. человека, 1983, т. 9, № 2, с. 211.

⁴ Grinberg - Zylberbaum J., John E. R. — Physiolog. and Behavior, 1981, v. 27, № 4, p. 749.

⁵ Ополинский Э. С., Коналов В. Ф., Рожкова Л. А., Батырь О. Ю. — Ж. высш. нервн. деят., 1983, т. 33, вып. 3, с. 522.

⁶ Костандов Э. А. Функциональная асимметрия полушарий мозга и неосознаваемое восприятие. М., 1983.

⁷ Кочубей Б. И., Рутман Э. М. — Новые иссл. в психологии, 1982, № 2, с. 26.

Биология

Птицы покидают остров

Орнитологи Музея естественной истории в Лос-Анджелесе (штат Калифорния, США), возглавляемые Р. У. Шрайбером (R. W. Schreiber), описали уникальный и пока еще загадочный для специалистов случай, когда огромное число птиц одновременно покинули места своего массового гнездования, оставив на произвол судьбы кладки и многие тысячи птенцов.

Такое необычное явление произошло в конце 1982 г. в Тихом океане на большом коралловом атолле — о-ве Рождества, входящем в состав Республики Кирибати (быв. о-ва Гилберта). Подсчеты на месте показали, что около 17 млн особей — все взрослые птицы этого острова — или улетели или погибли от голода. Среди них примерно 14 млн крачек (*Sterna*), 1,5 млн буревестников (*Puffinus*) и около 1 млн других птиц, принадлежащих шестнадцати различным видам.

Специалисты связывают это ставшее впервые известным науке событие с беспрецедентно активным развитием в 1982 г. морского течения Эль-Ниньо¹. Как известно, это течение возобновляется раз в несколько лет, охватывая огромные массы тропических вод в экваториальной области Тихого океана, где лежат и о-ва Кирибати. Аномальные процессы во взаимодействии атмосферы и океана, ослабление пассатов в западной и центральной части Тихого океана, потепление верхних слоев воды, очевидно, приводят к нарушению сложившихся здесь экологических связей.

По-видимому, «возвращение» Эль-Ниньо прервало обычный для этих районов апвеллинг (подъем холодных, богатых питательными веществами вод из глубин к поверхности моря). Это лишило пищи многие виды рыб и моллюсков, которые, в свою очередь, слу-

жат источником питания для птиц; последним оставалось или погибнуть или покинуть остров.

Орнитологи организовали постоянное наблюдение, чтобы выяснить, когда и при каких обстоятельствах птицы начнут возвращаться на родной атолл, какой репродуктивный цикл у них при этом установится, чем они будут питаться и с какой скоростью смогут восстановиться местные популяции.

EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 1983, v. 64, № 14, p. 131 (США).

Биология

Самцы, собирающие цветочные запахи

Взаимоотношения цветковых растений и их опылителей — пример удивительно гармоничного взаимодействия живых организмов в природе. Цветок снабжает насекомое кормом, а насекомое, в свою очередь, переносит пыльцу, выполняя необходимую для размножения растений функцию. Такова схема, известная каждому школьнику. Но вот американские исследователи из Университета штата Флорида посвятили целый обзор рассмотрению случаев, когда насекомое в награду за перенос пыльцы получает не корм, а... запах¹.

В южноамериканских тропиках существуют две группы орхидных растений (*Stanhopeinae* и *Catasetinae*), цветы которых вовсе не производят нектара, а пыльца из-за особого устройства пыльников не поддается сбору. Тем не менее эти растения опыляются пчелами, но исключительно самцами, которых орхидеи привлекают своим ароматом. Связанные с орхидеями пчелы эвглосины (*Euglossinae*) обитают тоже только в южноамериканских тропиках и отличаются яркой металлически-

блестящей окраской и хоботком, длина которого превышает длину тела. Самец, опустившийся на цветок, проникает в ту его область, откуда исходит цветочный запах, и чистится там специальными щеточками, расположенными на передних лапках. Предполагается, что при этом самец адсорбирует вещества, являющиеся предшественниками его полового феромона. Для улавливания и переработки компонентов цветочного запаха самцу служат специализированные запасующие и железистые клетки, которые находятся в его вздутых передних голенях.

Каждая орхидея видоспецифично привлекает лишь одного или нескольких пчел-опылителей, что обеспечивает репродуктивную изоляцию совместно произрастающих видов растений. Известные науке гибриды не завязывают семян, так как продуцируемый ими смешанный набор компонентов цветочного запаха не привлекает никаких опылителей. Интересно, что орхидея *Stanhopea tigrina* в разных частях своего ареала, по-видимому, связана с разными опылителями и, как было обнаружено, представлена двумя запаховыми формами.

Еще совсем недавно ученые и мечтать не могли о том, чтобы исследовать отдельные компоненты цветочного запаха. Однако применение физического адсорбента в сочетании с газовой хроматографией и масс-спектрометрией позволило сделать это. В своей работе Вильямс и Виттен приводят список из нескольких десятков химических веществ, открытых в запахе орхидных, которые в полевых экспериментах привлекали пчелиных самцов.

В. М. Карцев

Москва

Физиология растений

Деревья умеют защищаться

Специалистам недавно стало известно, что деревья, подвергшиеся массовому нападению растительноядных насекомых, начинают реагировать на

¹ См.: Последствия Эль-Ниньо.— Природа, 1983, № 10, с. 116.

¹ Williams N. H., Whitten W. M.— Biological Bulletin, 1983, v. 164, № 3, p. 355.

Экология

это повышением в течение ближайших часов содержания в листьях фенолов и танинов; эти защитные вещества отрицательно влияют на ферменты пищеварительной системы насекомого, замедляют его рост, а тем самым и потребность в пище. Включившись в исследование этого явления, А. Болдуин и Дж. Шульц (I. Baldwin, J. Schultz; Дартмутский колледж, штат Нью-Гэмпшир, США) провели эксперименты с сеянцами тополя и сахарного клена, которые выращивались в условиях изоляции, под непроницаемым колпаком. Повреждая листья, они одновременно вводили под колпак радиоактивную двуокись углерода, что позволяло проследить синтез новых веществ в организме растения.

Опыты подтвердили, что сеянцы тополя через 52 часа после повреждения удаляют содержание фенола в листьях. Совершенно неожиданным оказалось, однако, тот факт, что и в листьях контрольных растений, находившихся рядом, количество фенола за те же 52 часа увеличилось на 58%. Примерно такая же картина наблюдалась и у сеянцев сахарного клена. Единственная разница между двумя этими исследовавшимися видами состояла в том, что у тополя даже неповрежденное растение включало радиоактивный углерод в синтезируемые им фенолы, тогда как у клена происходила просто переброска фенолов из той части организма, где они находились прежде, в поврежденные листья.

Соприкосновение корней подопытных растений было исключено, так как каждое растение занимало отдельный горшок; листья разных экземпляров также друг друга не касались. Таким образом, в чем бы ни заключался «сигнал опасности», передаваемый от одного растения другому, он должен был распространяться по воздуху. Анализ образцов воздуха пока не позволил выделить химическое вещество, которое могло бы служить таким сигналом. Авторы высказывают предположение, что это этилен, вырабатываемый поврежденной растительной тканью.

Science, 1983, v. 221, № 4607, p. 277 (США).

Необычная экосистема

Зоологи М. Брук (М. Brooke; Оксфордский университет, Англия) и Д. Хьюстон (D. Houston; Университет Глазго, Шотландия) изучали экологическую обстановку на о-ве Казен (Сейшельские о-ва), где обитает колоссальное количество ящериц: на площади всего 27 га насчитывается 37,6 тыс. сцинков сейшельских (*Mabuya sechellensis*) и более 8 тыс. сцинков Райта (*M. rightii*). По биомассе это составляет примерно 39 кг на гектар, что в 10—100 раз превосходит количество самых многочисленных рептилий в любой точке земного шара (временные скопления в сезон миграций и период размножения в расчет, естественно, не принимаются).

Существование сцинков на о-ве Казен тесно связано с колониями птиц, в основном крачек (*Anous stolidus* и *A. tenuirostris*), общая численность которых в период гнездования достигает 60—70 тыс. пар. Как установлено, основным источником питания ящериц служат продукты жизнедеятельности птиц: свежий помет, оброненная рыба, выпавшие из гнезд яйца. Исследователи подсчитали, что общая масса помета достигает 20 т/год, масса оброненной рыбы составляет не менее 5 т/год, а разбившиеся яйца дают ящерицам ежегодно еще не менее 300 кг высококалорийной пищи.

Вся популяция сцинков в состоянии потребить за год не более 11 т пищи. Наблюдения показали, что за период гнездования крачек ящерицы успевают накопить запас жира, составляющий 50% веса их тела. Этого запаса достаточно для нормальной жизнедеятельности ящериц (даже в случае полного голодания) на протяжении 100 суток. Таким образом, существование ящериц вполне может поддерживаться лишь за счет колоний птиц. Однако сцинки используют и дополнительные корма: насекомых и плоды фруктовых деревьев. Несмотря на обилие пищи, среди сцинков развит каннибализм.

Проведенные исследова-

ния в очередной раз демонстрируют необычность экологических ситуаций, нередко складывающихся на островах, и являются примером точного количественного подхода к изучению биоценозов.

Journal of Zoology, 1983, v. 200, Part. 2, p. 179—185 (Великобритания).



Экология

Экологическое значение селена

Объединенный комитет по разработке научных критериев качества окружающей среды при Национальном научно-исследовательском совете Канады посвятил очередной том своих публикаций селену. Попытки понять механизм биологического действия этого химического элемента и по сей день заводят исследователей в тупик. В периодической системе Менделеева он расположен в VI группе, но его биологическая активность совершенно не похожа на активность других элементов этой группы.

Историки утверждают, что первым описал отравление селеном Марко Поло: в 1295 г. во время его путешествия по востоку Китая внезапно начался массовый падеж вьючных животных, которые паслись в зарослях местного кустарника; их гибели предшествовало выпадение волос и резкий упадок сил. В XIX в. в Южной Дакоте (США) похожую болезнь, названную «щелочной», обнаружили у лошадей; у них выпадали волосы из гривы и хвоста, развивалась прогрессирующая хромота. Оба эти случая, как ныне установлено, — результат отравления селеном, который содержался в большом количестве в листьях растений, выросших на богатых этим элементом почвах.

Однако оказалось, что не только избыток, но и недостаток селена в корме животных вызывает у них сходные патологические изменения. Так, после второй мировой войны в США, Австралии, Новой Зеландии, не-

которых странах Северной Европы у сельскохозяйственных животных возникло заболевание, получившее название «белой мышечной болезни». Оно проявлялось в дегенерации мускулатуры, выпадении волос, некрозах печени и сердечной мышцы, снижении репродуктивной способности и, как выяснилось, было связано с изменением метода приготовления корма для скота. Вместо травы и сена с добавлением зерна и белковых концентратов фермеры стали давать скоту высокопродуктивные травы, выращенные на полях с применением синтетических удобрений, и добавляли в этот корм минимальное количество зерна. При таком рационе скот с пищей получал очень мало селена, особенно в тех местностях, где его содержание в почве было невысоким и где интенсивно использовались удобрения, содержащие серу (в присутствии серы способность селена проникать в растения снижается). Основным источником селена в природе служат некоторые горные породы и почвы (в почвах он обычно находится в виде двухвалентного иона, т. е. в виде селенидов, селенитов и селенатов). В загрязнении селеном атмосферного воздуха большую роль играет вулканическая деятельность, а в последние десятилетия — сжигание каменного угля и нефти, содержащих этот элемент в виде примеси. Соединения селена обладают очень высокой способностью проникать в растения и накапливаться в них (особенно в условиях щелочных почв). Обычно концентрация селена в корнях растений выше, чем в листьях и стебле, хотя встречаются и обратные случаи, в частности у таких селеновых аккумуляторов, как астрагалы. В 1 кг зеленой массы некоторых видов, например у растущего в Южной Дакоте *Astragalus galeosomus*, может содержаться до 1,5 г селена (0,15 % биомассы растения).

С растительной пищей, а также с водой селен попадает в организм человека. Он хорошо всасывается через желудочно-кишечный тракт (от 95 до 100 % от общего количества поступившего вещества). Многие из особенностей метаболизма селена

в организме человека остаются пока малоизвестными. Имеются данные, что соединения селена превращаются в организме с образованием селенистого водорода, метил- и этилселенидов, двуокиси селена, причем эти превращения происходят преимущественно в печени с помощью специфических ферментов. Выводятся соединения селена в основном с мочой (от 50 до 80 % введенного количества) и через дыхательную систему (около 20 %); незначительные количества могут экскретироваться с желчью. В связи с особенностями превращения и выведения селена из организма наибольшее его количество обнаруживается в печени и почках, несколько меньшее — в селезенке, поджелудочной железе, сердечной мышце, легких, коже, тканях половых органов и мозга.

Содержание селена в человеческом организме существенно меняется в зависимости от природно-климатических условий и национальных особенностей питания. Так, у канадцев концентрация селена в печени в среднем равна 0,44 мкг/г, у англичан — 0,30 мкг/г. В крови жителей США селен обнаружен в концентрации 0,118 мкг/мл, Швеции — 0,12 мкг/мл, Новой Зеландии — 0,7 мкг/мл. По данным канадских авторов, необходимое и достаточное количество селена в пище человека составляет 60—150 мкг/день. При дозах меньше 40 мкг/день развивается селеновый дефицит, при дозах выше 40 мкг/день — селеновая интоксикация.

Случаи интоксикации человека селеном довольно редки и наблюдаются в основном на производстве. Они сопровождаются головокружением, выпадением волос, повреждением ногтей, тошнотой, рвотой. При отравлении поражаются желудочно-кишечный тракт, печень, развивается анемия. Дефицит селена также оказывает неблагоприятное действие на человека. Предполагают, что с недостатком селена в той или иной степени связаны болезни печени и сердечно-сосудистой системы, артрит, катаракта. Исследования, проведенные в 19 штатах США, позволили установить четкую связь между низким содержанием селена в крови людей

и смертностью в результате сердечно-сосудистых заболеваний. В некоторых районах Китая, где содержание селена в пищевых продуктах недостаточно, в качестве профилактики сердечной патологии с успехом используют ежедневные приемы селената натрия.

Таким образом, и у человека и у животных как избыток, так и дефицит селена в организме вызывает близкие по характеру патологические изменения, причина которых остается пока неизвестной.

National Research Council of Canada, 1983, Publication, № 20643 (Канада).

Геология

Древнейшие процессы дифференциации на Земле

В недавно опубликованной работе ученых из ФРГ и Великобритании содержатся новые данные по радиоизотопному определению возраста древнейших пород Земли¹. Интерес к изотопному датированию не случаен: до настоящего времени максимальные значения возраста, надежно установленные для земных пород, составляли 3,7—3,8 млрд лет², в то время как возраст Земли превышает 4,5 млрд лет. Таким образом, из геологической летописи нашей планеты исчезают первые 700 млн лет ее существования. До сих пор это связывалось с возможным уничтожением ранней коры Земли в процессе бомбардировки ее поверхности крупными метеоритами.

В работе названных авторов изучались Sm-Nd и Rb-Sr изотопные системы в эфолитах (метаморфических породах, образование которых связывают с условиями высоких давлений, до

¹ Jagoutz E., Dawson B., Spettel B., Wänke H. — Meteorol. Soc. 46th Meeting. Abstracts. Mainz, 1983, p. 78.

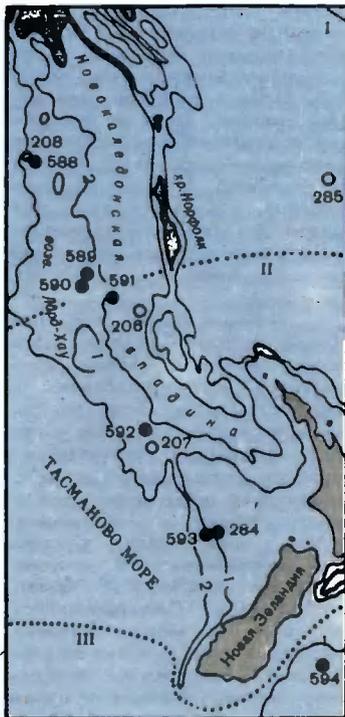
² См. также: Древнейшие породы Земли. — Природа, 1984, № 1, с. 118.

10 тыс. бар, на больших глубинах) и в минералах, их составляющих. При этом исследовались эфлогитовые включения в кимберлитах из алмазных копей Южной Африки. Модельные возрасты, рассчитанные при условии ненарушенности Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем с момента образования породы до настоящего времени, составили 4,2—4,4 млрд лет. Остаются, однако, некоторые сомнения в соответствии этих рассчитанных значений действительному возрасту, ибо, по данным тех же изотопных систем, в отдельных минеральных составляющих устанавливаются значительно более поздние процессы метаморфических преобразований породы.

Если дальнейшими исследованиями подтвердятся столь древние значения возраста для пород Земли, можно будет сделать вывод, что процессы дифференциации и выплавления, приведшие к формированию земной коры, начались вскоре после ее аккреции.

Е. В. Бибикова,
кандидат

геолого-минералогических наук
Москва



Район работ «Гломара Челленджера» в 90-м райсе. Черные кружки — скважины данного рейса; светлые кружки — скважины предыдущих, 21-го, 29-го, 30-го рейсов; римскими цифрами обозначены границы различных водных масс: I — зона южной тропической конвергенции, II — зона субтропической конвергенции, III — зона субантарктической конвергенции. Изобаты — в километрах.

вых отложений (около 45 млн лет). Несмотря на разнообразие океанологических условий (от экваториальных вод до субантарктических), осадки оказались довольно однородными — фораминиферо-нанопланктонные илы. Терригенного материала в них очень мало, но встречаются (иногда в значительном количестве) прослои вулканического пепла. В нижних частях осадочной толщи илы диагенетически изменены: там они превращаются в твердые породы — мел. Ученые поставили вопрос: что влияет на преобразование осадков — их возраст или мощность вышележащей толщи? Стратиграфические исследования показали, что возраст границы рыхлых и плотных отложений колеблется в очень широких пределах — от 8 до 22 млн лет. Глубина же (от поверхности дна), за одним исключением, остается более или менее неизменной — 260—290 м. И только в скважине 593 по еще не выясненной причине эта граница залегает на глубине 462 м.

Установлено, что в юго-западной части Тихого океана скорость седиментации подвержена очень сильным колебаниям — от 7 м/млн лет в поздне-мезозоене (скважина 593) до 131 м/млн лет в конце раннего плейстоцена, 3,5 млн лет назад (скважина 591). В нижней части разреза, в осадках древнее 15 млн лет, скорость седиментации была более постоянной, чем в вышележащих; начиная с этого рубежа скорости резко возросли. Особенно больших значений они достигали трижды: 12 млн лет назад, 5 и 3,5 млн лет назад. Исследователи считают, что смена океанологических режимов (образование Циркумантарктического течения, наступание и отступление антарктических ледников) оказала определяющее влияние на биологическую продуктивность вод; вследствие этого изменялась и скорость выпадения и накопления биогенных осадков на возвышенностях дна.

Обнаруженные прослои вулканических пеплов позволили проследить, как протекал вулканический процесс в островных дугах этого региона. Оказалось, что вулканизм проявлялся с перерывом во времени. В наибо-

90-й рейс «Гломара Челленджера»

Этот рейс бурового судна¹ проходил в юго-западной части Тихого океана. Он начался 2 декабря 1982 г. в порту Нумеа (Новая Каледония) и завершился 9 января 1983 г. в Веллингтоне (Новая Зеландия). Перед учеными, которыми руководили Дж. Кеннет (J. Kennett; Университет штата Род-Айленд, США) и Х. фон дер Борх (Ch. von der Borgh; Университет Южной Австралии), стояла задача исследовать, как изменялись палеоокеанологические условия за последние 25 млн лет (т. е. с миоцена) на обширной площади океана —

от тропиков до субантарктических вод. С этой целью на меридиональном разрезе было пробурено 8 скважин (587—594). В этот же разрез логически входит и последняя скважина 89-го рейса (586), которая «надстраивает» его вплоть до экватора. Скважины бурились только на возвышенностях дна (Лорд-Хау, Чатам). Это дало возможность исследовать достаточно большую толщу осадков и провести тонкий анализ колебаний палеоокеанологических условий.

Во всех скважинах получен исключительно полный разрез миоценовых и более молодых пород. Две скважины (592 и 593) достигли верхнеэоцено-

¹ JOIDES Journal, 1983, v. IX, № 2, p. 3.

лее изученной верхней части разреза выделено 4 интервала, в которые островные дуги надстраивались особенно активно: в раннем-среднем миоцене (18—14 млн лет назад), в позднем миоцене (11—9 млн лет), в конце миоцена и раннем плиоцене (5—4 млн лет) и, наконец, начиная с позднего плиоцена до настоящего времени (3—0 млн лет). Участники рейса усматривают некоторую корреляцию между эпизодами усиления вулканизма и последующими изменениями климата.

А. Е. Сузюмов,
кандидат
геолого-минералогических наук
Москва

Геология

Рифтовые структуры в Западной Африке

Глобальная система рифтов, в которых, согласно гипотезе тектоники плит, происходит разрастание земной коры, широко выявлена на дне океанов и много реже прослеживается на континентах. Известно, что образование рифтовых структур на континентах сопровождается специфическим щелочным магматизмом, поэтому сообщение об открытии провинции такого магматизма в Западной Африке привлекло большое внимание специалистов.

В малоисследованных районах северо-восточного Мали (массив Тадхак, 20—21° с. ш., 0° долготы) группа бельгийских и французских геологов обнаружила несколько щелочных интрузий (типичных кольцевой и цилиндрической форм) и серии крутопадающих пластовых тел сложного состава с включением карбонатитов. Интрузии, как показал рубидий-стронциевый метод исследования пород, образовались 262±7 млн лет назад, в пермском периоде.

Новооткрытая провинция щелочных интрузий располагается у северного окончания мелзоенового трога (корытообразной впадины), который, по геологическим и геофизическим данным, наложен на более

древний трог Тесоффи, заполненный красноцветными грубообломочными осадками. Хотя палеонтологическая датировка этих осадков еще не произведена, однако, судя по их тесной пространственной связи со щелочными интрузиями, а также по наличию в этих осадках участков с характерным для щелочного магматизма изменением пород, возраст отложений Тесоффи тоже можно считать пермским.

Формирование этих щелочных интрузий и домелового трога связано с эпохой грандиозного рифтообразования — расколом Пангеи. Если учесть, что в тысяче километров к северу, как бы на продолжении Тесоффи, существует другой, аналогичный по возрасту трог, а сама провинция щелочных пород расположена у края Западно-Африканского кратона (древнего жесткого ядра), в пределах Панафриканского шва, то можно уверенно предполагать, что под обширнейшим мезозойским осадочным чехлом находится целая система позднепалеозойских рифтов.

Nature, 1983, v. 305, No 5929, p. 42—43 (Великобритания).

Океанология

Осадки в Мировом океане, обогащенные кобальтом

По сообщению Геологической службы США, в ряде районов Мирового океана открыты донные осадки, обогащенные кобальтом. В 1981 г. западногерманской экспедицией на судне «Сонне» обнаружены в центральной части Тихого океана, к западу от Гавайских островов и у архипелага Лайн, на глубине около 2600 м осадочные железомарганцевые образования в виде корок, содержание кобальта в которых составляет 1 % и более. На участках дна, где возраст осадков на склонах и вершине подводной горы превышает 20 млн лет (середина кайнозой), толщина отдельных корок достигает 9 см при средней

толщине 2 см. По оценке западногерманских и американских специалистов, запасы корок в обследованном районе дна площадью 300 км² могут составить несколько миллионов тонн. Эти корки отличны от округлых марганцевых конкреций, и для их извлечения в будущем, очевидно, потребуются разработать специальную технику.

Коркоподобные осадки с относительно высоким содержанием кобальта найдены также на дне Атлантического и Индийского океанов. По данным экспедиции 1982 г., организованной Геологической службой США, более 14 тыс. км² плато Блейк (северо-западная часть Атлантического океана) обильно покрыты кобальтоносными осадками. Как показывали прежние анализы конкреций с плато Блейк, они содержат в среднем 16 % марганца, 10 % железа, 0,6 % никеля, 0,3% кобальта, 0,1 % меди. Новые исследования заставляют пересмотреть прежние оценки минеральных ресурсов этого района. Оказалось, что железомарганцевых конкреций на плато меньше, чем предполагалось ранее, а корковые образования представляются весьма значительными.

В этой экспедиции использовалась буксируемая по дну на полозьях фотокамера «Ангус», созданная в Вудсколском океанографическом институте (США); с ее помощью сделаны тысячи фотографий крупных площадей дна. На снимках четко различимы полосы марганцевых конкреций и крупного обломочного материала из марганцево-фосфоритных агрегатов. Для измерения концентрации конкреций на дне океана применялась японская трехчастная акустическая система, а для сбора твердых образцов донных пород использовалось усовершенствованное пробоотборное устройство ударного типа.

По мнению экспертов, результаты проведенных исследований дают основание считать разработку кобальтоносных осадков экономически перспективной, но начало таких работ они относят к 2000 г.

Oceanus, 1983, v. 26, No 2, p. 72—74 (США).

Океанология

Глубоководные исследования рифтовых зон

Американо-канадская экспедиция летом 1983 г. завершила исследования одного из участков Мировой системы срединно-океанических хребтов — хребта Хуан-де-Фука в Тихом океане. Для подводных работ использовался небольшой обитаемый аппарат канадского производства «Пайсис-4», способный погружаться на глубину до двух километров. В районе подводных гор, цепочкой вытянувшихся вдоль оси рифтовой долины, проведено восемь погружений на глубину 800 и более метров. Длительность погружений в среднем составляла 9 часов.

Во время одного из спусков исследователи на глубине 1580 м обнаружили на дне долины расселину длиной 300 м и глубиной 25 м, заполненную прогретой до 35 °С высокоминерализованной водой. Обычно придонная вода имеет температуру около 0 °С, и только в гидротермальных источниках на дне рифтовых долин она поднимается до значительных величин (в устье одного из источников в Галапагосской рифтовой зоне была зафиксирована в совместной франко-американской глу-

боководной экспедиции температура около 250 °С).

Лабораторные исследования образцов породы, поднятых манипулятором подводного аппарата с бортов расселины на хребте Хуан-де-Фука, показали, что на поверхности базальтов отложились толстые корки сульфидных минералов. Осадки, накопившиеся на дне впадины, также сильно обогащены сульфидами; здесь образовались металлоносные отложения, высокая концентрация металлов в которых может в будущем представлять промышленный интерес.

К источникам выхода нагретых вод приурочены колонии специфических подводных организмов, развивающихся в сульфидных средах. Впервые такие сообщества были описаны в Галапагосской рифтовой зоне у берегов Центральной Америки¹.

Ocean Science News, 1983, v. 25, № 40, p. 4 (США).



Океанология

Олово в воде и атмосфере Северной Атлантики

Американские океанологи М. Андреа и Дж. Бирд (M. Andreae, J. Byrd; Университет штата Флорида) провели по заданию Национального научного фонда США первые систематические исследования концентрации олова в водах северной части Атлантического океана и в атмосфере над ним. Цель работы — установить, сколь высоко загрязненность вод и каким образом олово попадает в океан.

Обнаружено, что концентрация олова в водах Северной Атлантики очень высока: в поверхностных водах этой части океана она в 5—10 раз выше,

чем в поверхностных водах Центральной Атлантики, и в 20 раз выше, чем в незагрязненных водах центральных частей Тихого океана. В Атлантическом океане концентрация олова с глубиной уменьшается, тогда как в Тихом океане остается почти неизменной. Высока концентрация олова и в атмосфере: над Северной Атлантикой она в 100 раз выше, чем над Тихим океаном.

Проанализировав полученные данные, авторы приходят к выводу, что в океан олово поступает из атмосферы. В атмосферу же этот элемент попадает вследствие ряда антропогенных факторов: использования топлива, массового сжигания отходов, в том числе консервных банок с оловянным покрытием, в ходе промышленных процессов с применением олова и т. п. Из прилегающих к Атлантике промышленных районов Северной Америки и Северной Европы частицы олова проникают в нижний слой атмосферы главным образом с господствующими ветрами. Попадая затем с осадками в воду, металлическое олово подвергается бактериальному воздействию и превращается в различные метилированные соединения (в них металл соединен с метильной группой). Такие соединения, в особенности метилированная ртуть, высокотоксичны. Их повышенные концентрации наиболее опасны для закрытых и полужакрытых водоемов (эстуарии, лагуны, заливы, территории портов). Здесь, по мнению исследователей, должны проводиться систематические наблюдения за концентрацией токсичных веществ.

Олово благодаря его химическим свойствам можно эффективно использовать в качестве трассирующего фактора, позволяющего проследить перемещение загрязненных им воздушных масс с континентов на океанические пространства, движение с атмосферными осадками и в водной среде. Такие работы в ближайшее время намечено осуществить в Северной Атлантике.



Район работ экспедиции (показан стрелкой) на хребте Хуан-де-Фука (хребет обозначен двумя линиями, смещающие его трансформные разломы — одной).

¹ Подробнее см. в этом номере: Несис К. Н. Вестиментиферы.

EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 1983, v. 64, № 31, p. 482 (США).

Дерматоглифика и история

А. Г. Козинцев,
кандидат исторических наук
Ленинград



Г. Л. Хить. ДЕРМАТОГЛИФИКА
НАРОДОВ СССР. Отв. ред.
В. П. Алексеев, М.: Наука, 1983,
280 с.

Дерматоглифика — наука о строении кожных узоров кисти и стопы. Но разве этим занимается не дактилоскопия? — спросят многие люди, не знакомые с антропологией. Да, объект изучения у обеих наук один, но цели и основы — разные. Дактилоскопия основана на неповторимости индивидуумов. Дерматоглифика основана на неповторимости рас. А какие могут быть практические следствия из того, что расы неповторимы? Ведь их не нужно разыскивать и опознавать. Верно, но их нужно систе-

матизировать, чтобы понять их историю. Система кожного рельефа (пальцевых и ладонных узоров) предоставляет, как оказалось, прекрасные возможности для расовой систематики. Во всяком случае, изучение кожных узоров не менее эффективно, чем традиционно использовавшихся в расоведении черт внешнего облика людей.

Чтобы показать это, Г. Л. Хить предприняла поистине титанический труд. Достаточно лишь взглянуть на объем материала, лежащего в основе книги — более 300 мужских и 300 женских выборок, представляющих практически все многообразие расовых типов населения СССР, а кроме того ряд зарубежных популяций. Общая численность обследованного контингента выражается ошеломляющей цифрой — более 50 тыс. человек! Подавляющее большинство групп изучено самим автором, подавляющее большинство оставшейся части групп — многочисленными учениками автора. В течение 20 полевых сезонов Г. Л. Хить выезжала в самые разные районы нашей страны — от Закарпатья до Сахалина и от Туркмении до Таймыра — для сбора отпечатков рук местных жителей. Результаты работы опубликованы в десятках статей. И вот, наконец, перед нами обобщающая монография. Читать ее трудно — настолько велика информация, спрессованная в сравнительно небольшом объеме. Каковы же главные итоги?

Прежде всего, из большой массы дерматоглифических особенностей выделено пять ведущих — независимых на внутригрупповом уровне, но взаимосвязанных на межгрупповом. Это таксономически ценные признаки, которыми и определяется взаимоположение популяций и расовых типов. Затем данные об этих признаках подвергнуты тщательной статистической обработке, в результате чего получена редкая возможность срав-

нительно точно оценить величину биологических различий между группами в пределах разных рас и регионов. Чрезвычайно существенно то, что примененный в работе способ оценки вводится впервые.

Выяснилось, что наиболее сильны расхождения между большими расами — европеоидной и монголоидной. Между этническими группами (народами) различия слабее, чем между большими расами, но в общем тоже велики. А вот так называемые локальные расы, или типы, выделенные предшествующими авторами по соматическим признакам, различаются внутри больших рас совсем слабо — значительно слабее, чем мельчайшие единицы исследования (популяции). Это, вкупе с другими фактами, дает веские основания полагать (хотя сам автор не делает такого вывода), что «локальные расы» — в значительной мере фиктивные группировки, «случайно выхваченные комбинации признаков», по выражению П. В. Терентьева.

Главный итог работы — расовая классификация народов СССР на основании дерматоглифических особенностей. Группы сначала систематизированы в пределах четырех крупных регионов — Восточной Европы, Кавказа, Средней Азии и Сибири, а затем на базе частных результатов автор умело составляет общую картину. Перечислить здесь частные итоги невозможно. Из общих положений наиболее существенно то, что дерматоглифическая классификация на высоких уровнях довольно хорошо совпадает с соматологической. Так, население Восточной Европы и Кавказа по особенностям кожного рельефа принадлежит, как и можно было ожидать, к одному крупному расовому объединению с европеоидными чертами (несмотря на ряд различий между этими регионами). Противоположной, монголоидной комбинацией признаков характеризуются на-

роды Сибири и Дальнего Востока. Крайне своеобразными оказались жители Средней Азии (узбеки, таджики, туркмены), сочетая признаки обеих рас — европеоидной и монголоидной, кроме того, имеющие некоторые специфические особенности, свидетельствующие о древних связях с экваториальными (индо-австралоидными) популяциями.

Особенно хорошо проявляется совпадение дерматоглифической классификации с соматологической в зонах смешения европеоидов с монголоидами в Волго-Камье, Приуралье, Средней Азии, Западной Сибири. Г. Л. Хить подсчитывает для каждой группы величину так называемого «восточного комплекса», дающую представление о доле монголоидного элемента. Как правило, результаты соответствуют нашим представлениям о расовом типе групп, но иногда оказываются неожиданными. Например, саами (лопары) дерматоглифически гораздо «монголоиднее», чем по традиционным расовым признакам. В тех случаях, когда смешение больших рас не было главным фактором эволюции (на внутрирасовом уровне), дерматоглифика позволяет существенно уточнить представления о родстве популяций. Так, взаимоположение кавказских народов мало соответствует традиционной схеме, которая теперь, несомненно, потребует корректировки. Европеоидные по типу пришельцы с Ближнего и Среднего Востока в Среднюю Азию сильно отличаются от местных европеоидов. Заслуживает пристального внимания отличие эскимосов и нивхов от монголоидов континентальных областей Сибири.

Г. Л. Хить написала книгу, новаторскую по методике. Почти небывалая широта охвата (из всех антропологов мира разве что Г. Ф. Дебец мог бы сравниться с автором по числу и разнообразию самостоятельно изученных групп) сочетается здесь с глубиной и продуманностью выводов. Монография эта, безусловно, привлечет внимание специалистов в разных областях. Прежде всего, конечно, антропологов, затем этнографов, историков, лингвистов, археоло-

гов — словом, всех, кого интересует происхождение народов. Кроме того, она будет ценна для биологов, в последние годы энергично взявшихся за изучение дискретных признаков (фенов): ведь дерматоглифические особенности — это именно феновы, а книга Г. Л. Хить — прекрасный образец того, как нужно исследовать внутривидовой полиморфизм. К сожалению, тираж (2000 экз.) слишком мал, чтобы удовлетворить спрос всех специалистов.

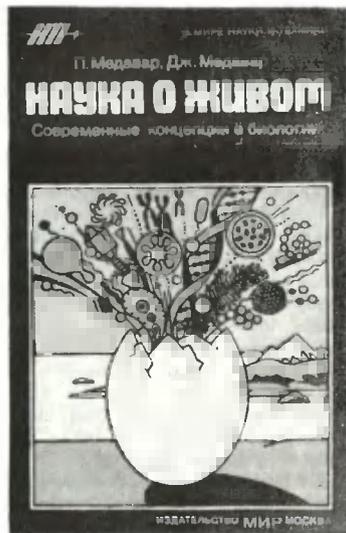
В заключение остается привести слова Г. Л. Хить: «Можно без преувеличения утверждать, что кожный рельеф человеческих рас и популяций — это запечатленная история их формирования». Прочтя книгу, никто в этом не усомнится.

Популярно о современных биологических цепочках

А. С. Антонов,
доктор биологических наук
Москва

Влияние прочитанной в молодости научно-популярной книги на формирование будущего ученого очень велико. Сила этого влияния предопределяет высокий уровень требований к каждой новой книге, рассказывающей широкому читателю о последних достижениях биологии.

Писать такие книги невозможно трудно. Автор должен обладать как редким даром популяризатора, так и энциклопедическими знаниями в биологии: сочетание редкое. Не случайно основная масса научно-популярного ширпотреба — это компиляция работ настоящих популяризаторов науки. Ненаскученный читатель иногда с увлечением читает такого рода произведения, не подозревая о том, что главный труд был выполнен не его автором, а талантливыми предшественниками. Впрочем, со временем приходит умение,



П. Медавар, Дж. Медавар. НАУКА О ЖИВОМ. Пер. с англ. П. С. Гурова, под. ред. и с предисл. Б. М. Медникова. М.: Мир, сер. «В мире науки и техники», 1983, 207 с.

подобное умению ювелира с первого взгляда отличать страж от самоцвета, и я беру на себя смелость утверждать, что нашему молодому поколению повезло: в свет вышла книга супругов Питера и Джин Медаваров «Наука о живом».

Хотя сами авторы пишут, что книга, помимо биологов, «может заинтересовать социологов, антропологов, философов и литераторов, которые хотели бы узнать кое-что о системе основных понятий современной биологии» (с. 11), круг ее читателей будет еще шире: по силе и глубине отражения сущности концепций современной биологии я не знаю ей равных среди подобного рода книг. Познакомиться с сутью науки «из первых рук» авторитетного ученого — всегда заманчивая перспектива. В настоящем случае интерес к выходу книги подогревается тем, что английский иммунолог П. Медавар широко известен своими экспериментальными работами, за которые он удостоен Нобелевской премии.

Книга Медаваров обладает многими достоинствами.

Прежде всего, она действительно научная и популярная. Авторы сумели рассказать о всех важнейших достижениях биологии последних лет. В книге 24 маленьких главы, каждая из которых кратко освещает состояние дел в каком-то крупном разделе этой науки, например: «Генетическая наследственность, нуклеиновые кислоты», «Генетический код», «Экзосоматическая (психосоциальная) эволюция», «Евгеника», «Демография», «Микробиология», «Рак», «Поведение животных и человека» и др. Весьма примечательно, что авторы посвятили книгу К. Попперу — ученому, оказавшему большое влияние на развитие философии науки. Этот факт раскрывает замысел Медаваров: книга, по словам авторов, «посвящена концепциям и фактической информации в ней ровно столько, сколько необходимо для того, чтобы сделать эти концепции понятными» (с. 11).

Собрать материал для такой книги — уже тяжелый труд, но еще сложнее найти нужную форму его изложения. Удивительно образный, местами афористический язык авторов (спасибо переводчику П. С. Гурову за отличную работу!) помогает понять суть очень сложных вещей, отношение авторов к частным концепциям биологии. Некоторые фрагменты текста так и просятся на роль эпиграфов. В век молекулярной биологии зоологу приятно будет, например, услышать, что «ценность сравнительной анатомии заключается в том, что она помогает понять систему природы: глуп тот, кто смеется над ней, и сам себе вредит тот, кто ее недооценивает» (с. 43). До энтузиастов модной в наше время дискуссии по дарвинизму хочу довести точку зрения Медаваров: «Ни один философски образованный ученый не рискует утверждать, будто теория эволюции... установлена настолько твердо, что не вызовет в будущем никаких вопросов и не потребует никаких изменений...» (с. 57—58). И еще: «У эволюционной теории есть одна весьма любопытная методологическая черта: иметь о ней свое мнение считает себя вправе кто угодно» (с. 59). А как это верно: «Молекулярная биология достигла такой всеобъемлющей

гармонии, что один выдающийся биолог сказал: «Нынче и музейный служитель может высоко держать голову, только если он называет себя молекулярным таксидермистом» (с. 11). А сколько юмора в коротком отрывке «Заметки о переворотах в биологии». Пролетевшая здесь историческую цепочку, ведущую от «доктринальной тирании» последарвинского возрождения зоологии к многочисленным дисциплинам — анатомии, паразитологии и, наконец, к сравнительной физиологии, авторы не без сарказма отмечают: «К несчастью, природа каждого академического переворота, по-видимому, требует, чтобы он обязательно превратился в язву, прежде чем его претензии будут наконец устало и с отвращением отвергнуты» (с. 112).

Особенно большое значение имеет раздел книги по иммунологии, в котором описано ее стремительное развитие за последние два десятилетия. До недавнего времени в этом разделе биологии ламаркисты искали опору для своих концепций. Борьба идей описана в нем с удивительной яркостью; исход ее явился триумфом современной теории эволюции.

Об одном важнейшем открытии в книге Медаваров нет ни слова — об открытии археобактерий, позволившем с новых позиций взглянуть на раннюю историю жизни на Земле. Об одной особенности организации клеток, как мне кажется, авторы неверно информируют читателя: они говорят об отсутствии клеточного скелета. Подробный разбор других недостатков книги содержится в предисловии Б. М. Медникова: их немного, и нет необходимости здесь на них останавливаться.

С особым интересом читаются заключительные главы книги: мнение Медаваров о будущем биологии и ее влиянии на развитие общества иногда спорно, но в целом не оставляет читателя равнодушным. Здорово сказано о геной инженерии: «Читая в газетах подобные страшные истории, не следует забывать о тайном стремлении многих ученых «эпатировать буржуа» и вообще нарушать сытое спокойствие обывателя, и, наконец, за многими

подобными историями кроется не жажда познания, но жажда известности» (с. 182).

Много поучительного читатель может извлечь из рассуждений авторов о холизме и редуccionизме в биологии. Они считают, что «редукционный анализ — самый удобный метод объяснений из всех когда-либо использованных в науке» (с. 186), что «нет никаких реальных оснований для того страха, который пробуждает его использование в умах столь многих людей» (там же).

В заключение не могу не привести цитаты из последней главы книги, названной «Великий дилетант», где речь идет о судьбе человека как биологического вида и судьбах человечества. «Мы... не верим, — пишут авторы, — что человечество не в силах предостеречь любую грозящую ему опасность или что какие-либо из его нынешних бед неповторимы... Несмотря на пугающие скрипы и лязги, великая машина мира все еще может прекрасно работать, но только в том случае, если будет признано, что длительное благополучие человечества нельзя обеспечить с помощью политики, которая поддерживает интересы некоторых людей за счет всех остальных или даже интересы всего человечества за счет остальных живых существ. Единство Природы — это не лозунг, а принцип, подтверждающийся всеми природными процессами. Урок этот был выучен слишком поздно, чтобы спасти некоторых животных, но, пожалуйста, как раз вовремя, чтобы спасти нас — тех, кто остался» (с. 193—194).

Физика

В. С. Эдельман. ВБЛИЗИ АБСОЛЮТНОГО НУЛЯ. М.: Наука, 1983, Гл. ред. физ.-мат. литературы, Библиотечка «Квант», выпуск 26, ред. Л. Г. Асламазов, 176 с., ц. 30 к.

Какие процессы происходят в «вотчине» физики низких температур, т. е. при температурах, не превышающих нескольких градусов Кельвина? Отвечая на этот вопрос, автор книги в первую очередь показывает те явления, природа которых может быть истолкована сравнительно просто, на базе общих законов теплового движения, известных по школьному курсу физики. Однако, когда речь заходит о явлениях, происходящих вблизи абсолютного нуля, обойтись без квантовой механики невозможно — она здесь повластная хозяйка.

В природе нет места с температурой ниже 3К, и читателю интересно будет узнать, как в лабораторных условиях удается не просто получать температуры в сотые и тысячные градуса Кельвина, но и поддерживать их довольно длительное время. В этом так или иначе участвует гелий — вещество, обладающее удивительными свойствами. Поэтому гелий — один из главных героев книги. Попутно в книге говорится и о том, что вся Вселенная наполнена излучением с температурой 3К, и о том, как ее сумели измерить.

В заключительных главах речь идет о сверхпроводимости — исчезновении сопротивления электрическому току у металлов при низких температурах (это явление полстолетия оставалось необъясненным). Недавно выяснилось, что это состояние можно создать магнитным полем¹. Рассказом об этом ин-

тересном явлении — так называемом квантовом эффекте Холла — заканчивается увлекательное путешествие в мир низких температур, которые уже давно вторглись в нашу жизнь и служат верой и правдой в самых различных сферах человеческой деятельности.

Океанология

В. П. Гаврилов. КЛАДОВАЯ ОКЕАНА. Отв. ред. А. Л. Яншин, М.: Наука, 1983, сер. «Человек и окружающая среда», 168 с., ц. 55 к.

Сегодня Мировой океан представляется тем пространством на Земле, с которым человечество связывает свои надежды на будущее. Книга знакомит читателя с минеральными богатствами Мирового океана. Некоторые из них находятся внутри земной коры, другие лежат на океаническом дне, третьи растворены в морской воде. При использовании «кладовой океана» человек сталкивается с немалым числом технических и экологических проблем, о которых рассказывается в книге.

Многие тысячелетия толща воды — это своеобразная маска — скрывала от людей геологию океана. И только в последние 20 лет, когда начались планомерные и комплексные исследования в этом направлении, перед учеными открылся новый мир — «океан без маски». Но и сейчас, пишет автор, мы еще находимся «у дверей храма познания его строения и его минеральных ресурсов. Изучить их, привлечь на пользу человеку — дело нынешнего и грядущих поколений».

Биология

К. Узати, Дж. Сторер, К. Пенникун и др. ПТИЦЫ. Пер. с англ. Л. И. Александрова и Л. П. Дмитриевой. Под ред. и с предисл. Л. С. Степаняна и С. Н. Хяютинна, М.: Мир, 1983, 288 с., ц. 3 р. 70 к.

Это перевод очередного тематического сборника публикаций «Scientific American», посвященных биологии птиц. В него вошли 25 наиболее содержательных и не утративших своей актуальности статей, опубликованных более чем за 30 лет. Они сгруппированы в семь самостоятельных разделов, в каждом из которых глубоко и всесторонне освещается какая-либо одна проблема: разнообразие и географическое распространение птиц; полет; миграция и навигация; эволюция; поведение; физиология и пение птиц; птицы и человек.

Авторы многих статей — пионеры в разработке фундаментальных направлений в изучении биологии птиц. К. Гринволд, например, создал «синтетическую» теорию механизмов генерации звуков у птиц; Э. Хесс разработал теорию импринтинга; К. Пенникун внес наиболее существенный вклад в представление о механике планирующего полета и т. д.

Палеонтология

Б. Т. Ямин. ОСНОВЫ ТАФНОМИИ. М.: Недра, 1983, 184 с., ц. 2 р. 30 к.

Тафномия (от греч. τάφος — захоронять и νόμος — закон) — учение о захоронении остатков организмов — было создано крупнейшим советским палеонтологом И. А. Ефремовым, специалистом по вымершим позвоночным позднего палеозоя, и как самостоятельное научное направление палеонтологических исследований оформилось сравнительно недавно, лишь в середине нашего столетия. А первые наблюдения, которые можно было бы отнести к разряду тафномических, проводились еще М. В. Ломоносовым.

В тафномии изучаются причины массовой гибели живых организмов, процессы перехода посмертных остатков из

¹ Семенчинский С. Г., Эдельман В. С. Полевой транзистор и постоянная тонкой структуры. — Природа, 1982, № 9, с. 38.

биосферы в литосферу (их перенос, разрушение и распределение в земной коре в результате взаимодействия биологических и геологических явлений), дальнейшее превращение захороненных остатков в окаменелости. В книге дается первое в отечественной и зарубежной литературе обобщение и систематизация данных по теоретическим основам тафономии и методам тафономических исследований.

Книга представляет интерес для палеонтологов, стратиграфов, литологов, палеогеографов, морских геологов; она может быть использована студентами и преподавателями геологических специальностей вузов.

Археология

Ю. Е. Березкин. МОЧИКА. Цивилизация индейцев северного побережья Перу в I—VII вв. Отв. ред. Р. В. Кириалов. Рецензенты: В. И. Гуляев, Ю. В. Кнорозов. Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1983, 164 с., ц. 1 р. 30 к.

Книга посвящена одной из самых замечательных культур доколумбовой Америки I тысячелетия н. э. — культуре индейцев, занимавших побережье и горные районы Перу и северо-западную часть Боливии (Центральные Анды). Эта культура известна крупными и мелкими, столичными и провинциальными поселениями, большими оросительными каналами, монументальными храмами, богатыми росписями на сооружениях и гробницах. Мочика были знакомы с металлургией, а их ремесленные изделия, несомненно, сделаны рукой мастеров-профессионалов. Хозяйство мочика было разнообразно: они занимались земледелием и скотоводством, рыболовством и строительством ирригационных систем.

Повествуя о социальном строе индейцев, автор выдвигает гипотезу, согласно которой царь не являлся единоличным владельцем. Его соправителями, возможно, были четыре должностных лица из разных социальных подразделений, которые приходили к власти поочередно и удерживали ее ограниченный

срок. Эта гипотеза основана на том, что в росписях, на которых изображены не боги, а люди, выделить фигуру царя часто не удается.

Книга хорошо иллюстрирована, написана живо и увлекательно, она рассчитана на всех читателей, интересующихся историей мировой культуры.

История науки. Психология.

Н. В. Абав. ЧАНЬ-БУДДИЗМ И КУЛЬТУРА ПСИХИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СРЕДНЕВЕКОВОМ КИТАЕ. Отв. ред. Л. П. Делюсин. Новосибирск: Наука, 1983, 125 с., ц. 70 к.

Школа чань сформировалась на рубеже V—VI вв. н. э. в процессе синтеза двух — индийской и китайской — традиций психического совершенствования человека как личности и субъекта деятельности. Уровень такого совершенствования был достаточно высок. Целью школы было достижение саморегуляции психических функций, которая давала бы индивиду возможность сознательно управлять своим нервно-психическим состоянием, мобилизовать физические и духовные силы для решения тех или иных практических задач. Последователи чань-буддизма пытались подвергнуть перестройке даже «подсознательно».

Чань-буддизм возник в Китае как противовес конфуцианству, целью которого было создание личности консервативного толка. Конфуцианцы не мыслили себя вне социальной иерархии и прилагали все усилия, чтобы сохранить существующую социальную систему, какой бы она ни была. Поскольку система все же менялась, то такие люди легко теряли способность ориентироваться в изменившемся мире, так как старые стереотипы оказывались недействительными. Последователи же чань-буддизма обладали большей пластичностью, отсутствием привязанности к социальным предписаниям. Это позволяло им активно включаться в оппозиционные движения.*

Книга предназначена историкам, психологам, филосо-

фам и всем, кто интересуется историей мировой культуры и цивилизации.

Философия естествознания

Н. Ирибаджанов. КРИТИКА МЕТАФИЗИЧЕСКОГО РАЗУМА. Пер. с болг. Общ. ред. и послесл. А. Г. Мысливченко. М.: Прогресс, 1983, 479 с., ц. 2 р. 10 к.

Автор — видный болгарский философ, ответственный редактор теоретического органа ЦК БКП «Ново време». Его книга, составленная из написанных в разное время работ, вводит в широкий круг философского осмысления проблем, связанных с анализом исторических судеб философии, ее предмета, роли и задач в общественном и научном развитии. Предметом анализа являются идеи Э. Гуссерля, Л. Витгенштейна, Дж. Мура, Б. Рассела и др.

Говоря о природе философского знания и ее взаимоотношениях с частными науками, автор отмечает два противоположных подхода: сциентистский и антисциентистский. С одной стороны, успехи частных наук породили позитивистские представления, будто развитие наук само по себе решает философские («метафизические») проблемы. По этим представлениям, конкретно-научное знание — наивысшая культурная ценность и достаточное условие мировоззренческой ориентации человека. Такой — сциентистский — подход ориентирован только на естественнонаучное и логико-математическое знание. Антисциентизм, напротив, подчеркивает ограниченность науки, чуждой и враждебной сути человека, делая ставку на «чисто» философское раскрытие специфики человеческой сущности, считая философское мышление радикально отличным от научно-го.

Оба эти направления автор считает пороками идеализма, подчеркивая, что философия должна представлять собой науку со своим собственным предметом, категориальным аппаратом, методом и задачами, не претендующая при этом на замещение собою специальных дисциплин.

Нарушая покой Вселенной*

Ф. Дэйсон

ЗЕЛЕНЕЮЩАЯ ГАЛАКТИКА

Когда в 1899 г. началась война с бунтами в Южной Африке, моей матери было девятнадцать лет, и она еще была жива, когда американцы потерпели поражение во Вьетнаме. Она часто говорила мне, что воспоминания об Англии времен войны в Южной Африке помогли ей понять значение войны во Вьетнаме для американцев. Для Англии южноафриканская война стала не просто военным и политическим крахом; рухнула целая система ценностей. Больше всего моя мать и ее поколение, воспитанное в традициях либерального империализма, пострадало не из-за того, что две малюсенькие республики буров перехитрили и обыграли Великую Британскую империю, а из-за того, что они увидели, как Великая Британская империя добивалась подчинения буров, разоряя их земли и загоняя женщин и детей в концентрационные лагеря. Некоторые друзья моей матери втайне были на стороне буров. Открытое выступление на их стороне требовало в те времена столько же мужества, сколько и открытая защита Хо Ши Мина в Америке в 1965 г. Война расколола семьи и стала испытанием лояльности. Возникла она неожиданно, из безоблачных далей затяжного лета прогресса и процветания викторианской эпохи. Самым тяжелым был 1901 г. В январе умерла старая королева, и с ее смертью ушла в прошлое успокоительная надежда, к которой англичане успели привыкнуть за шестьдесят три года ее правления.

* Окончание. Начало см.: Природа, 1984, № 3, с. 123.

На протяжении всего года шла такая же отвратительная и бесцельная война, как во Вьетнаме. Англия перевалила в 1902 г., а буры все не сдавались, и семьи их по-прежнему гибли в концентрационных лагерях от дизентерии. Оптимизм викторианской эпохи исчез окончательно. Над страной нависли отчаяние и тоска.

Как раз в это время, в пятницу 24 января 1902 г., через шесть лет после появления «Острова доктора Моро», Герберт Уэллс прочитал в Королевском институте в Лондоне лекцию под названием «Открытие будущего». В момент, когда его соотечественники после поверхностного оптимизма впали в такое же поверхностное отчаяние, Уэллс решил, что настало время рассказать им нечто, совершенно отличное от «Доктора Моро». Вот как он закончил свою лекцию:

«Вполне возможно, что прошлое — всего лишь начало начала, а все, что есть и было, — лишь первый луч зари. Вполне возможно, что все достигнутое человеческим разумом — всего лишь сон перед пробуждением. Мы не знаем, и нам нет нужды знать, каким станет мир, когда солнце будет в зените. Мы дети предраусветных сумерек. Но именно наша раса, наши потомки породят умы, которые обратятся к нам, ничтожным, в желании познать нас лучше, чем мы знаем себя сами, и эти умы бесстрашно взглянут на то будущее, которое недоступно нашему взору. Его величие дремлет в нашем мире, и настанет день, один из бесконечной цепочки дней, когда существа, пока глубоко запрятанные в наших мыслях и в нас самих, встанут на Земле во весь рост, засмеются и обнимут руками звезды».

Чтобы мы ни делали, на Земле или за ее пределами, у нас всегда есть возможность выбора между двумя стилями — серым и зеленым (так я их называю). Четкого различия

между ними нет, и его лучше пояснить на примерах, чем с помощью определений. Заводы — серые, а сады — зеленые. Физика — серая, а биология — зеленая. Плутоний — серый, а конский помет — зеленый. Самовоспроизводящиеся автоматы — серые, а деревья и дети — зеленые. Сотворенное человеком — серое, Природой — зеленое. Военные учебники — серые, поэтические сборники — зеленые.

Почему же не сказать просто: серое — это плохое, а зеленое — хорошее, и не встать на путь, который быстро приведет нас к спасению, если мы запретим все серое и добьемся расцвета зеленого? Потому что для удовлетворения материальных потребностей мира техника должна быть не только красивой, но и дешевой. Было бы заблуждением считать, что с помощью идеологии, основанной на принципе «зеленое красиво», нам будет легче, чем когда-либо, решить трудную проблему выбора.

Одной из насущнейших потребностей человека на Земле является солнечная энергия. Каждая страна, будь то богатая или бедная, «купеется» в ней, но у нас нет дешевой, легко доступной технологии для превращения этой энергии в необходимые в повседневной жизни горючее и электричество. С точки зрения науки, превратить солнечную энергию в горючее или электричество совершенно не сложно — есть много теоретически возможных способов, но все известные способы дорогостоящие. Нам не по карману их использование в масштабах, достаточно значительных для того, чтобы удовлетворять большую часть наших потребностей в энергии не за счет быстро уменьшающихся запасов природного газа и нефти.

Тэд Тэйлор, завершив свою работу над проблемой мер безопасности против возможности хищения ядерного горючего,

решил все оставшееся у него в жизни время посвятить проблеме солнечной энергии. Он разработал проект системы солнечных водоемов, которая, если не возникнет никаких серьезных препятствий, может оказаться гораздо дешевле любой существующей технологии переработки солнечной энергии. Идея заключается в том, чтобы выкопать большие пруды, оградить их дамбами и накрыть прозрачными пластиковыми матрацами, наполненными воздухом. Тогда бы солнце нагревало воду, а матрац изолировал бы ее от охлаждающих ветров и предотвращал испарение. Вода оставалась бы горячей круглый год, и эту энергию можно было бы использовать для обогрева домов, перерабатывать в электроэнергию или в энергию химического горючего, используя при этом простые и доступные тепловые машины. Если все пойдет по-задуманному, система будет перерабатывать солнечную энергию в горячее или электричество с КПД примерно пять процентов. При этом расходы будут не больше чем при использовании угля или нефти.

Я не хочу делать никаких предсказаний относительно того, будет ли система Тэда действовать. Прежде, чем мы узнаем, реализуема ли на самом деле такая теоретическая возможность, необходимо решить бесчисленное множество инженерных проблем, уж не говоря об экономических и юридических.

К счастью, экономическое преобразование мира не зависит от того, реализуемы планы Тэда или нет. Не так важно, окажется ли его конкретная идея правильной, потому что Тэд лишь один из немногих, кто предлагает какой-то метод использования солнечной энергии. В мире существуют сотни групп, выдвигающих свои идеи и проекты. А чтобы преобразить мир, нам всего-то нужно, чтобы какая-то одна система оказалась удачной и дешевой. И совсем не обязательно, чтобы это была система Тэда. Просто важно, чтобы все, у кого есть свои идеи, получили возможность их продемонстрировать. Нельзя исключать их или отсеивать по идеологическим соображениям.

Технология Тэда скорее серая, нежели зеленая, и разработана она, в первую очередь, в целях практических, нежели эстетических. Интересно представить себе, как внешне преобразится наша планета, если система Тэда окажется экономически подходящей и будет распространена в крупных масштабах. Можно предположить, хотя это и крайне маловероятно, что решат построить столько водоемов, сколько необходимо для производства всей энергии, получаемой сейчас ежегодно за счет использования нефти, газа, угля и урана. Для этого потребовалось бы вырыть и покрыть пластиком водоемы на площади, занимающей один процент всей суши. Это примерно та площадь, которую сейчас занимают в Соединенных Штатах автомобильные дороги. Стоимость строительства этой системы тоже была бы примерно равна стоимости строительства такого количества дорог. Другими словами, чтобы обеспечить всему миру постоянно возобновляемый необходимый запас энергии, нам всего лишь пришлось бы пойти на те жертвы в области окружающей среды и финансов, на которые Соединенные Штаты пошли ради автомобиля. Заплатить такую цену за удовольствие пользоваться автомобилем в Соединенных Штатах сочли приемлемым. Не стану гадать, какова будет позиция публики, когда речь пойдет о чистом и неисчерпаемом источнике энергии. Зато вероятно, что во многих менее богатых странах, где потребление энергии меньше, а альтернативных источников нет, водоемы Тэда покажутся очень выгодными. Может быть даже, некоторым пластиковые водоемы придутся больше по душе, чем скоростные дороги. Во всяком случае, ходить между водоемами проще, чем переходить дороги.

Так что и у серой технологии есть свои достоинства и перспективы. Благодаря ей у тропических стран Карибского бассейна и Индийского океана может родиться надежда на избавление от нищеты. Можно представить себе, что через 25 лет, т. е. примерно за то же время, которое потребовалось для строительства нашей систе-

мы дорог, в Соединенных Штатах произойдет коренное изменение в потреблении энергии и основным источником станет солнечная энергия. По многим причинам важно, чтобы это изменение произошло быстро, пока не исчерпались запасы нефти в мире.

Но если мы заглянем вперед больше чем на 25 или даже 50 лет, то увидим еще более широкие перспективы, которые открывает зеленая технология. Именно в области использования солнечной энергии зеленая технология ни в чем от серой не отстает и даже в конечном итоге ее превосходит. Давным-давно бог придумал дерево — устройство по переработке воздуха, воды и солнечного света в горячее и другие полезные химические вещества. Разнообразием выполняемых функций и экономичностью дерево превосходит любое устройство в серой технологии. Основная проблема использования деревьев в качестве систем для переработки солнечной энергии заключается в том, что мы не умеем пользоваться ими, не уничтожая их и не портя окружающую среду. Процесс вырубки леса экономически неэффективен и эстетически неприятен. Те химические вещества, которые деревья вырабатывают естественным путем, мало подходят для применения и распределения в экономике, ориентированной на нефть.

Представим себе систему для переработки солнечной энергии на основе зеленой технологии, созданной после того, как мы научились читать и писать на языке молекул ДНК и программировать рост и метаболизм дерева. Взору открывается долина, приоткрывшая рошу красных деревьев, такую же тихую и тенистую, как Мюирские леса у подножия Маунт Тамалепэ в Калифорнии. Растут эти деревья медленнее, чем обычные. Вместо того чтобы вырабатывать в первую очередь целлюлозу, они синтезируют чистый спирт, октан или какое-либо другое вещество, необходимое нам. В стволе расположены две системы сосудов, одна из которых служит для поступления соков, а вторая — для отвода к корням выработанного продукта. Под

землей корни образуют сеть живых трубопроводов для сбора горючего, произведенного в долине. Эта сеть в различных точках подключена к искусственным трубопроводам, по которым горючее поступает туда, где оно используется. Как только мы освоим технологию программирования деревьев, мы сможем выращивать такие рощи везде, где есть благоприятная почва. Мы сможем получать горючее от красного дерева в Калифорнии, от тополей в Нью-Джерси, от сикомор в Джорджии, от елей в Канаде. Такие плантации, колья скоро деревьев на них уже выросли, станут постоянными и самоподдерживающимися. Потребуется лишь обычный лесничий, чтобы следить за состоянием леса. Если мы примем, что переработка солнечной энергии в химическое горючее будет осуществляться с общим КПД 0,5 %, сопоставимым с КПД роста деревьев в естественных лесах, то тогда потребности в энергии современного мира могли бы быть полностью удовлетворены за счет выращивания таких плантаций примерно на десяти процентах суши. Во влажных тропических районах для выработки такого же количества горючего потребовалась бы еще меньшая площадь.

Тэд Тэйлор предложил план строительства системы солнечных водоемов для обогрева и обеспечения горячей водой, электричеством и кондиционированным воздухом комплекса на сто квартир, предназначенного для семей ученых, приезжающих работать в Институт перспективных исследований в Принстоне. Он надеется построить такую систему при общей стоимости в пять тысяч долларов на семью. Существующая обычная теплосистема с использованием нефти будет сохранена в законсервированном виде, чтобы сотрудники института не замерзли, если вдруг в системе солнечных водоемов появятся неполадки. Этот план обеспечения стоквартирного комплекса — не просто экспериментальный проект. Это полномасштабное испытание системы солнечных водоемов. Одна из больших заслуг Тэда в том, что его система становится экономически

целесообразной уже в масштабах стоквартирного комплекса. Нет смысла братья за крупными централизованные объекты: даже если бы энергетические потребности всего мира обеспечивались за счет использования солнечных водоемов, система все равно была бы децентрализованной, с отдельными самостоятельными объектами примерно таких же размеров, что и комплекс, который мы собираемся испытать в Принстоне.

Пока еще планов превратить рощи на территории института в плантации искусственных деревьев для обеспечения потребностей института в горючем у нас нет. Они появятся гораздо позднее, если вообще появятся. Большинство из нас, будь у нас выбор, предпочли бы гулять в роще, а не среди искусственных водоемов. Но для разработки технологии использования искусственных деревьев потребуются много времени, лет пятьдесят — сто, а может быть и двести. Процесс этот будет, видимо, сложным и противоречивым, будет много ошибок, неудач, опытов, сначала вроде бы успешных, а потом вдруг выявляющих непонятные сложные проблемы. Освоение генетического программирования только такого вида будет всего лишь первым этапом. Чтобы искусственные деревья выжили и расцвели в естественной окружающей среде, программисту необходимо будет понять их экологические связи с тысячами других видов, живущих в их кроне или среди их корней. Возможно, программирование и выращивание искусственных деревьев навсегда останется не наукой, а искусством. Возможно, тем, кто будет выращивать искусственные плантации, потребуются не только знание механизма ДНК и программы для ЭВМ, но и везение и энтузиазм. Это еще одно преимущество зеленой технологии. Но освоить использование солнечной энергии человеку необходимо как можно скорее. Ждать сто лет мы не можем. Если пластиковые водоемы окажутся подходящими, придется строить их, а деревьями займутся внуки.

Осваивая космическое пространство, человечество пе-

реносит туда и свои проблемы. Использование солнечной энергии останется одной из наших центральных проблем. В космосе, как и на Земле, технология должна быть дешевой, иначе она просто станет лишь игрушкой для богатых. В космосе, как и на Земле, нам по-прежнему придется выбирать между серой и зеленой технологиями, причем и здесь будут ограничивающие наш выбор экономические трудности, аналогичные тем, с которыми мы сталкиваемся на Земле. Существующая в настоящее время технология переработки солнечной энергии в космосе реализуется на использовании кремниевых фотоэлементов. Они очень хороши, когда речь идет об обеспечении энергией научных приборов, но слишком дороги для удовлетворения обычных потребностей человека. Солнечные водоемы могут оказаться дешевым и эффективным средством на Земле, но использовать их в космосе нельзя. Солнечная система устроена так, что в ней существуют две довольно резко отличающиеся друг от друга зоны: внутренняя, близкая к Солнцу, где много солнечного света, но мало воды, и внешняя, отдаленная от Солнца, где, наоборот, много воды, но мало солнечного света. Земля находится на границе этих зон и, насколько мы знаем, является единственным местом, где есть в изобилии и то, и другое. Предполагается, что именно поэтому на Земле и появилась жизнь. По этой же причине солнечные водоемы могут оказаться полезными именно на Земле.

Нам нужно искать технологию, которая позволила бы коренным образом изменить решение экономических проблем освоения космоса. Прежде чем широкомасштабное освоение солнечной системы человеком станет возможным, нам необходимо сократить расходы на осуществление работ в космосе, и не в пять или в десять, а в сотни и даже тысячи раз. Системы использования солнечной энергии во внутренней и внешней зонах будут, видимо, разными. Во внутренней зоне, где много солнечного света и мало воды, потребуются серая технология. Малоприспособленные для жиз-

ни человека районы Солнечной системы лучше всего подходят для использования сложнейших автоматов и расцвета правительственных предприятий. Самовоспроизводящиеся автоматы из железа, алюминия и кремния в воде не нуждаются. Используя их, можно освоить Луну и Меркурий или пространство между ними, можно осуществлять гигантские проекты, не ставя под угрозу экологическое равновесие на Земле. Автоматы могут «питаться» солнечным светом и камнями, и никакое другое сырье для увеличения их числа не требуется. Эти автоматы построят в космосе свободное парящее государство для людей. Они доставят океаны воды с внешних планет, где она в изобилии, во внутреннюю зону, где воды не хватает.

Во многих отношениях распространение серой технологии во внутренней зоне Солнечной системы может облегчить решение экономических проблем человечества на Земле. Запасы материи и солнечной энергии во внутренней зоне на много порядков больше, чем ресурсы, имеющиеся на поверхности Земли. Землю можно снабжать непосредственно из космоса редкими минералами и промышленной продукцией или даже продовольствием и горючим. Землю можно будет охранять и лелеять, как пригород для жилья или как дикий заповедник, а все работы по добыче сырья и производству перенести на Луну или на астероиды. Эмиграция людей с Земли сама по себе проблему народонаселения не решит. Эта проблема должна быть так или иначе решена на Земле, независимо от того, будут ли люди эмигрировать или нет. Но возможность эмиграции может в значительной степени облегчить положение. С точки зрения психологической и политической, тем, кто останется на Земле, возможно, будет легче согласиться со строгим контролем роста населения, если людям, чувствующим необоримое желание иметь большую семью, будет куда переехать.

Куда будут перебираться эмигранты? На этот вопрос серая технология удовлетвори-

тельного ответа не дает. При помощи серой технологии можно построить в космосе колонии вроде той, которую О'Нил описал в своем «Острове номер один»: консервные банки из стекла и металла, в которых люди живут стерильной, изолированной жизнью, защищенные от опасностей дикой природы Земли и космоса. Хорошо если со временем эти люди не начнут походить на жителей «отважного нового мира» Хаксли¹. Человечество нуждается в более обширном и более свободном жизненном пространстве. Мы живы не хлебом единым. Основная проблема нашего будущего — не экономическая, а духовная — это проблема разнообразия. Как обеспечить разнообразие на переполненной Земле или в консервных банках из стекла и металла — жизненном пространстве, созданном с помощью существующей космической техники?

На социальном уровне для этого необходимо сохранить многообразие языков и культур и оставить место для появления новых, вопреки современному средству связи и массовой информации, подталкивающим к однообразию. Для обеспечения разнообразия на биологическом уровне необходимо, чтобы родители имели возможность влиять на генетические процессы и выращивать более здоровых и одаренных, чем они сами, детей. Но если дать родителям такую свободу, то тогда, по-видимому, человечество превратится в класс нескрещивающихся между собой видов. Трудно себе представить, чтобы хоть какой-нибудь из существующих ныне социальных институтов смог устоять перед трудностями, которые повлечет за собой раскол на такие виды. В биологической области разнообразие слишком опасно, чтобы его допускать.

Единственным средством решения проблемы разнообразия мне представляется освоение человечеством космического пространства за счет использования зеленой технологии. Зе-

леная технология предлагает нам правильное направление, в обратную от Солнца сторону, к астероидам и гигантским планетам, дальше за них, туда, где пространство бесконечно и безгранично. При использовании зеленой технологии мы не строим консервные банки, мы приносим к жизни растения, животных и самих себя к жизни в естественных условиях космического пространства. У монгольских кочевников грубая кожа и узкие глаза, благодаря которым они не боятся холодных ветров Азии. Если когда-нибудь наши внуки родятся с кожей еще более грубой и глазами еще более узкими, они смогут прогуливаться с незащищенным лицом по Марсу. Наше будущее зависит не от того, будем ли мы осваивать космическое пространство. Оно зависит от того, сколько нас будет видов: один или миллион. В то же время даже миллионы видов не смогут использовать все те экологические ниши, которые еще ждут, пока мы их откроем и изучим.

Если мы будем использовать зеленую технологию, то тогда наше распространение в космическом пространстве ограничится не только людьми и машинами. Это будет распространение жизни в целом, и мозг человека будет лишь инструментом для удовлетворения ее потребностей. Когда жизнь завоевывает новое жизненное пространство, она никогда не делает это силами одного вида. Для ее поддержания необходимо разнообразие видов, и число их лишь увеличивается по мере становления жизни. Наше распространение в Галактике будет происходить по такой же схеме.

Чтобы дерево могло расти на астероиде в безвоздушном пространстве при очень слабом солнечном свете, нам необходимо создать ему новые листья с иной поверхностью. У любого организма оболочка, кожа, имеет огромное значение, и ей необходимо уделять особое внимание, чтобы она полностью соответствовала окружающей среде. Эта идея тоже не новая.

«Моя беседа с туземцами.

— Откуда вы? — спросил я однажды у них.

¹ Huxley A. Brave New World. L., 1932.

— Мы переселенцы с других больших планет.

— Как же вы попали сюда и как живете в пустоте, когда ваши тела были приспособлены к жизни в атмосфере?

— Как мы попали сюда — это я не могу вам объяснить, до такой степени оно сложно; что же касается атмосферы, то наши тела преобразовывались понемногу и применились к жизни в пустоте, как у вас водные животные постепенно превращались в сухопутных и нелетающие в летающих. Вообще на планетах сначала появились водные животные, потом — живущие в воздухе и, наконец, — в пустоте...

— ...Скажите пожалуйста, чем вы питаетесь?

— Мы питаемся и развиваемся подобно растениям — действием солнечных лучей.

— ...Но я все-таки не понимаю... Растение питается соками земли и газами воздуха, которые энергия солнечных лучей переделяет в ткань растений...

Видите зеленые придатки нашего тела, имеющие вид красивых изумрудных крыльев? — В них содержатся зернышки хлорофилла, подобного тому, который окрашивает листья в их характерный цвет: у некоторых ваших животных и в телах есть такие зернышки... Крылья благодаря своей стекловидной оболочке ничего не выпускают наружу, но зато свободно, почти без потери, пропускают свет солнечных лучей. Лучи эти разлагают углекислоту, растворенную в соках, что струятся в наших крыльях, как кровь вашего тела, и совершают тысячи других химических работ, в результате которых получаются разные газы, жидкости и твердые тела. И то, и другое, и третье тут же вступает отчасти в физическую, отчасти в химическую связь с иными составными частями соков, образуя жидкие тела, т. е. обогащая соки новыми веществами. Обогащенные ими, соки эти доставляют в каждый момент нашему телу все необходимое для его питания: кислород в слабом химическом соединении, углеводороды и азотистые вещества².

Цитата взята из книги Константина Циолковского «Грезы о

земле и небе», опубликованной в Москве в 1895 г., за семь лет до того, как Уэллс прочел свою лекцию об открытии будущего.

Мы пока не знаем, из чего состоят астероиды. Многие из них очень темного цвета и обладают оптическими характеристиками, аналогичными характеристикам метеоритов, называемых углеродистыми хондритами. Эти метеориты состоят из вещества, довольно сильно похожего на земную почву, и содержат значительное количество воды, углерода и других химических веществ, необходимых для жизни. Может быть, нам повезет и окажется, что черные метеориты состоят из такого же материала. Несомненно, где-то в Солнечной системе есть место, откуда это вещество берется. Если окажется, что черные метеориты как раз и есть такое место, то тогда мы станем обладателями миллионов маленьких миров, вполне доступных для нас, где должным образом запрограммированные деревья могли бы приняться и расти на подходящей почве. Вслед за деревьями появятся другие растения, животные, люди, бесконечное разнообразие целых экологических систем. При этом такой маленький мирок мог бы экспериментировать и развиваться по своему усмотрению.

Серая технология, созданная человеком, — тоже часть природы. Она была и остается важнейшим звеном для проникновения человека в космос. Серая технология — это уловка, придуманная природой для того, чтобы перенести жизнь на другие планеты. Другая уловка природы — это зеленая технология, используемая для изменения генетических процессов и придуманная для того, чтобы жизнь могла быстро и целенаправленно, а не медленно и наугад приспособливаться к новому месту. Это нужно для того, чтобы жизнь не просто вырвалась с Земли, а могла распространиться по всей Вселенной, принимая все новые и новые формы. Все, что мы делаем,

мы делаем по плану, задуманному природой, достигая не своих, а ее целей.

Куда мы отправимся после того, как покорим астероиды? Спутники Юпитера и Сатурна богаты льдом и органическими веществами; они удалены от Солнца, и на них холодно. Однако если растения научить превращаться в своего рода живые теплицы, то они смогут там расти. Почему бы растения не создавать свою собственную теплицу? Ведь растут же черепахи панцирь или устрицы — раковины. А после Юпитера и Сатурна мы попадем в царство комет. Возможно, пространство вокруг Солнечной системы заполнено огромным количеством комет — миниатюрных планет диаметром в несколько миль, состоящих почти полностью из льда и других химических веществ, необходимых для жизни. Мы эти кометы видим только тогда, когда их орбита возмущается, и они попадают в окрестность Солнца. Примерно одна комета в год попадает в район, прилегающий к Солнцу, постепенно испаряется и распадается. Если предположить, что количество комет было достаточным, чтобы поддерживать этот процесс на протяжении миллиардов лет, которые уже существовала Солнечная система, то тогда их и сейчас вокруг Солнца многие миллиарды. Следовательно их общая поверхность по крайней мере в тысячу лет больше поверхности Земли. вполне вероятно, что именно кометы, а не планеты, станут основным местом развития жизни в Солнечной системе.

У других звезд может быть столько же комет, сколько и у Солнца. А может быть, и нет. У нас нет доказательств ни того, ни другого. Если Солнце в этом отношении не исключение, то тогда в нашей галактике преобладают кометы, и для отправляющихся в межпланетное путешествие людей она представляет собой место гораздо более гостеприимное, чем кажется большинству из нас. Тогда расстояние между пригодными для жилья островами в океане Вселенной будет уже измеряться не световыми годами, а световыми днями или и того меньше.

² Цит. по: Циолковский К. Э. Грезы о земле и небе. М., 1959, с. 43—44.

Но независимо от того, являются ли кометы удобными перевалочными пунктами для миграции жизни во Вселенной, расстояние между планетами и звездами не станет непреодолимым препятствием на пути распространения жизни. Когда жизнь научится защищаться от космического холода и вакуума, она научится и выдерживать длительные путешествия к другим звездам, и укорениться там, где есть солнечный свет, вода и основные питательные вещества. И где бы ни появлялась жизнь, там будут появляться и наши потомки, помогая этому процессу, направляя его и приспособляясь. Будут возникать проблемы, связанные с адаптацией жизни на планетах различных размеров или в облаках межзвездной пыли. Может быть, наши потомки научатся разводить сады под звездными ветрами. Но вот остановить распространение жизни после того, как оно начнется уже основательно, они не смогут. Какое-то непродолжительное время мы еще сможем контролировать этот процесс, однако в конце концов жизнь так или иначе научится обходиться без нашей помощи. «Озеленение» галактики станет процессом необратимым.

Я рассказал об озеленении галактики так, как будто мы — плод первой попытки природы создать разумное существо. Если такие существа где-то в галактике уже есть, то тогда все обстоит совсем иначе. Образы жизни, разнообразие культур в галактике станут еще больше. Нам же надо толь-

ко внимательно следить за тем, чтобы не причинить вреда экологическим системам наших соседей и не разрушить их. Прежде чем мы отправимся за пределы Солнечной системы, мы должны досконально изучить галактику через телескопы и узнать о наших соседях столько, сколько необходимо, чтобы встретиться с ними не как с врагами, а как с друзьями. Вселенная достаточно велика, чтобы обеспечить необходимым жизненным пространством всех нас. Но даже если мы и одиноки в Галактике, что также вполне возможно, и разумных соседей у нас нет, у жизни на Земле достаточно потенциала для того, чтобы заполнить все уголки Вселенной.

Распространение жизни во Вселенной это не конец, а начало. По мере того как будет увеличиваться число мест, где укоренилась жизнь, будут происходить и качественные изменения в мышлении и культуре, представить себе которые пока невозможно. Присоединение новых территорий важно не само по себе, а лишь как средство применить силу человеческого разума тысячами различных способов.

В 1929 г. ученый-кристаллограф Десмонд Бернал опубликовал небольшую книгу «Мир, плоть и дьявол»³, в которой

³ Bernal J. D. The World, the Flesh and the Devil: An Enquiry into the Future of the Three Enemies of the Rational Soul. Bloomington, 1969, p. 80—81.

он описал распространение жизни во Вселенной как одну из основных задач, ожидающих человечество. Когда он попытался представить себе, что будет после, он, как и я, оказался в тупике. Как и любая попытка заглянуть в будущее, его книга кончается вопросом:

«Мы ждем будущего, единственного и полного сверхъестественных сил; однако именно такие устремления, оторванные от материального мира, и создали нашу материальную цивилизацию. И так будет и дальше, до тех пор, пока будет оставаться хоть какая-то связь между устремлениями и действиями. Но можно ли на это рассчитывать? Или, может быть, это как раз тот критерий, который определит направление развития человечества? Мы подошли вплотную к тому моменту, когда мы научимся видеть результаты наших действий и возможные их последствия для будущего. Мы пока еще робко начинаем завоевывать наше будущее, но зато мы впервые начинаем понимать, что оно зависит от наших действий. Отвернемся ли мы после этого от того, что противоречит нашим самым сокровенным желаниям, или же осознание своей новой силы окажется недостаточным для того, чтобы изменить эти желания и заставить их служить тому будущему, которое благодаря им и возникнет?»

Перевод с английского
А. В. Багеева

В номере использованы фотографии ЦЕРНА, АЛЕКСЕЕВА Н. Н., БОНДАРЕНКО Д. А., ГИППЕНРЕЙТЕРА В. Е., МЕРЗЛЯКОВА В. М.

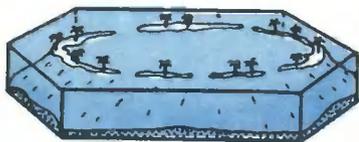


—символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Map and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР
Корректоры
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС
Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 27.01.84
Подписано к печати 7.03.84
Т-03575
Формат 70×100¹/₁₆
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1442,9 тыс.
Уч.-изд. л. 15,7
Бум. л. 4
Тираж 53 900 экз. Зак. 287

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

За полтора столетия, прошедших со времени, когда Ч. Дарвин изложил свою гипотезу о происхождении атоллов и коралловых островов, немало ученых обращалось к этой проблеме. И вот родилась еще одна гипотеза, отражающая современный уровень знаний о геологии этих экзотических образований.

Леонов М. Г. Коралловые острова в море и... на суше.



Гордость наших городов, сел, украшение природы — архитектурные памятники старины. Геологическое осмысление некоторых процессов, происходящих в камне древних построек, необходимо для их реставрации и охраны.

Флоренский П. В. Живой камень памятников.



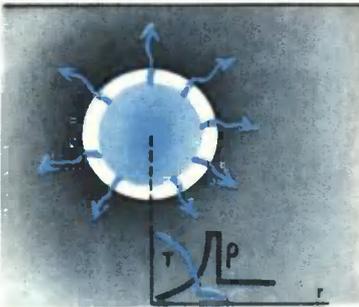
Наблюдения над развитием растений и животных, начатые К. В. Вольфом более двух столетий назад, положили начало новому научному направлению — биологии развития.

Гайсинович А. Е. К. Ф. Вольф — основоположник современной эмбриологии.



Совместными усилиями радиообсерваторий Северного и Южного полушарий проведено комплексное исследование Галактики в радиодиапазоне и создана радиокарта всего неба.

Вилебинский Р. Радионебо.



Как получить мощное излучение для лазеров, способных возбуждать термоядерные реакции синтеза? В поисках ответа на этот вопрос ученые создали новую область теоретической и экспериментальной физики плазмы.

Розанов В. Б., Рухадзе А. А. Мощная излучающая плазма.

Цена 80 коп.
Индекс 70707

