

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

5 89



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Кандидат физико-математических наук
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТУШКОВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик
В. А. ГОВЫРИН

Заместитель главного редактора
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Академик
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

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

Академик
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
ПОПУЛЯРНЫЙ
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Издается с января 1912 года



НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Фигурка из кургана у с. Златополь. См. в номере: Нечитайло А. Л. Степные находки.

Фото В. А. Чупрынина.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Торцовая часть магнита установки ARGUS. См. в номере: Голутвин А. И., Зайцев Ю. М. Осцилляции в системе «прелестных» мезонов.



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» («The Man and the Biosphere»). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.



© Издательство «Наука»
журнал «Природа» 1989

В НОМЕРЕ

Кутырев В. А. ЧЕЛОВЕК В «ПОСТЧЕЛОВЕЧЕСКОМ» МИРЕ: ПРОБЛЕМА ВЫЖИВАНИЯ

Существует зримая опасность того, что в процессе создания техносферы человечество утратит контроль над ней. Это уже сегодня заставляет особо внимательно изучать законы саморазвития техногенной среды и ставит проблему взаимодействия с ней человечества.

Фаддеев Л. Д. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД НА ЭВО- ЛЮЦИЮ ФИЗИКИ

В XX в. окончательно определилась роль математики как незаменимого языка физики. Эта «непостижимая эффективность математики» часто поражает (а иногда и раздражает) представителей физических наук.

жизнь выходит из воды на сушу

Как и почему в конце силура — начале девона живые организмы стали «выбираться» из воды на сушу? Пока что ясно одно: это не было вызвано какими-то особыми условиями, создавшимися на Земле.

Мейен С. В. ПЕРВЫЕ «СУХОПУТНЫЕ» РАСТЕ- НИЯ (17) Пономаренко А. Г. НАЗЕМНЫЕ СПЕОЗВОНОЧНЫЕ (20) Воробьева Э. И. ОТ РЫБ К ЧЕТВЕРОНОГИМ (23)

Суханов А. Л., Пронин А. А. СПРЕДИНГ НА ВЕНЕРЕ

Структуры горизонтального растяжения, образуемые спредингом на Венере, существенно отличаются от земных, почему и не были распознаны ранее.

Бабижаев М. А., Брикман И. В. ПОЧЕМУ МУТНЕЕТ ХРУСТАЛИК

Гипотеза о решающей роли перекисного окисления липидов в образовании катаракты позволяет понять механизмы ее возникновения и наметить пути хирургического лечения.

Кривохатский А. С. ПРОБЛЕМА РАДИОАКТИВНЫХ ОТ- ХОДОВ

Будущее атомной энергетики в значительной мере зависит от того, удастся ли решить эту проблему. И хотя решения пока нет, оно, как показывают многочисленные исследования, вполне возможно.

Дмитриевский Н. Н., Терский Н. Ю. МНОГОЛУЧЕВОЙ ЭХОЛОТ

Эхолоты нового поколения значительно изменили наши представления о рельефе дна океана.

Чуянов В. А. ХОЛОДНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ?

64 Голутвин А. И., Зайцев Ю. М. ОСЦИЛЛЯЦИИ В СИСТЕМЕ «ПРЕЛЕСТ- НЫХ» МЕЗОНОВ

Весной 1987 г. международная коллаборация ARGUS, в состав которой входят советские физики, сообщила о наблюдении взаимных превращений (осцилляций) прелестных мезонов B^0 , причем величина эффекта оказалась неожиданно большой.

69 Уральцев Н. Г., Хозе В. А. ARGUS НА СТРАЖЕ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИ- МОДЕЙСТВИЙ

Эксперимент по наблюдению осцилляций прелестных мезонов играет ключевую роль в проверке представлений о физике микромира, в частности современной теории электрослабых и сильных взаимодействий.

Батурин Г. Н. ФОСФОРИТЫ ОКЕАНА

На дне океана, в зонах прибрежного апвеллинга — подъема холодных вод, обогащенных фосфором, образуются фосфориты — осадочные породы с высоким содержанием «элемента жизни».

86 Гайсинович А. Е., Россиянов К. О. «Я ГЛУБОКО УБЕЖДЕН, ЧТО Я ПРАВ...» Н. К. КОЛЬЦОВ И ЛЫСЕНКОВЩИНА

Публикация неизвестных ранее документов из архива Н. К. Кольцова рассказывает о его мужественной и бескомпромиссной борьбе против засилья «мичуринской биологии», которую он начал задолго до того, как многие осознали ее истинную опасность.

96 Лем С. СТРАТЕГИИ ПАРАЗИТОВ, ВИРУС СПИДА И ОДНА ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГИПОТЕЗА

«Не только журналисты, но и медики выражают свое удивление тем, что впервые в истории появился вдруг вирус, применивший против человека стратегию, отличную от стратегии других паразитов... Но я рискну усомниться в том, что она встречается в природной эволюции впервые».

Тихоненко Т. И. ЕЩЕ НЕМНОГО О СПИДЕ И ГИПОТЕЗЕ С. ЛЕМА (103)

105 НОВОСТИ НАУКИ

123 РЕЦЕНЗИИ

124 НОВЫЕ КНИГИ

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

126 Пиннекер Е. В. ПОЧЕТНЫЙ ГРАЖДАНИН ВЕНЫ

CONTENTS

3 Kutyrev V. A. MAN IN THE POST-HUMAN WORLD: THE PROBLEM OF SURVIVAL

There is a tangible danger of the technosphere evading the control of man. Therefore, today, while it is not too late, we should show more attention to the laws according to which the technogenic environment is developing and to the problem of its interaction with man.

11 Faddeev L. D. EVOLUTION IN PHYSICS AS SEEN BY A MATHEMATICIAN

In the 20th century mathematics has finally emerged as an indispensable language of physics though many physicists still continue to be amazed or even irritated by this "incomprehensible efficiency of mathematics".

17 LIVING ORGANISMS SPREAD FROM THE WATER TO THE EARTH

Why and how did the living organisms manage to leave the water and invade the land at the turn of the Devonian? One thing is clear so far: the shift was not caused by any special conditions on the Earth.

Meien S. V.

THE FIRST LAND PLANTS (17)

Ponomarenko A. G.

THE LAND INVERTEBRATES (20)

Vorobyeva E. I.

FROM THE FISHES TO QUADRUPEDALS
(23)

27 Sukhanov A. L., Pronin A. A. SPREADING ON THE VENUS

Horizontal tension structures caused by spreading on the Venus differ from those on the Earth. That's why they were not recognized earlier.

39 Babizhaev M. A., Brikman I. V. WHY DOES THE CRYSTALLINE LENS GROW TURBID

The hypothesis of the key-role of the superoxide oxidation of the lipids in the formation of cataracts allows to understand the mechanisms of its origin and outline nonsurgical ways of its treatment.

50 Krivokhatsky A. S. THE PROBLEM OF RADIOACTIVE WASTES

Progress in nuclear energetics partly hinges on the solution of this problem. And though it is not solved yet, numerous research shows it can be really done.

61 Dmitrievski N. N., Tersky N. Yu. MULTIBEAM ECHOSOUNDER

Echosounders of the new generation have considerably enriched our ideas about ocean bed.

63 Chuyaňov V. A. COLD FUSION?

64 Golutvin A. I., Zaitsev Yu. M. OSCILLATIONS OF BEAUTY MESONS

In spring 1987 the ARGUS international collaboration reported on the discovery of the oscillations in the system of $B^0\bar{B}^0$ -mesons at the unexpectedly high level.

69 Uraltsev N. G., Khoze V. A. ARGUS ON GUARD OF THE STANDARD MODEL

The experimental observation of $B^0\bar{B}^0$ -oscillations plays the key-role in verification the modern theory of electroweak and strong interactions.

75 Baturin G. N. PHOSPHORITES IN THE OCEAN

Coastal upwelling forms sedimentary rocks rich in phosphorus on the sea bed.

86 Gaisinovich A. E., Rossiyanov K. O. "I AM DEEPLY CONVINCED THAT I AM RIGHT..." N. K. KOLTISOV VS. LYSSENKO

Formerly unknown documents from Koltsov's archive testify to his courageous and uncompromising struggle against the "Michurin biology" which he had launched long before his colleagues recognized its true significance.

96 Lem S. THE STRATEGY OF THE PARASITES, THE AIDS VIRUS AND AN EVOLUTIONARY HYPOTHESIS

"Not only journalists, but also medical workers are amazed by the fact that a virus with a strategy different from other parasites has made its appearance for the first time in history... I think that it is not for the first time that a similar strategy develops in the natural evolution".

Tikhonenko T. I. MORE ABOUT THE AIDS AND LEM'S HYPOTHESIS (103)

105 SCIENCE NEWS

123 BOOK REVIEWS

124 NEW BOOKS

MEETING WITH THE FORGOTTEN PAST

126 Pinneker E. V. AN HONORARY CITIZEN OF VIENNA

В. А. Кутырев

Человек в „постчеловеческом“ мире: ПРОБЛЕМА ВЫЖИВАНИЯ



Владимир Александрович Кутырев, кандидат философских наук, доцент кафедры философии Горьковской высшей партийной школы. Специалист в области философских проблем экологии. Занимается методологией коэволюции и социального познания. Автор книги: *Современное социальное познание (общенаучные методы и их взаимодействие)*. М., 1988. В «Природе» опубликовал статью: «Универсальный эволюционизм или коэволюция» (1988, № 8).

Мы знаем, что положение безнадежно: значит, нам нужно сделать все, чтобы его изменить.
Ф. С. Фицджеральд

ЧЕЛОВЕК в «постчеловеческом» мире — парадокс, нуждающийся в разъяснении, однако это не игра слов, а выражение видимых уже сегодня противоречий. «Постчеловеческий» мир — не мир без человека. Это мир, созданный человеком и приобретающий независимость от своего творца. Изменяясь в дальнейшем по автономным законам и становясь несоразмерным человеку как конечному живому индивиду, он заново ставит перед ним проблему своего понимания и освоения. Таким становится характер производимой нами «второй природы» — культуры — сложной многомерной искусственной реальности, все более и более определяющей нашу жизнь.

Вопреки распространенным верованиям жизнь человека в мире «всеобщего благоденствия» требует борьбы и усилий. Борьбы за выживание в нем.

НОВЫЕ МИРЫ

Современное человечество вступило в этап, исторически сравнимый с неолитом, а по своей будущей значимости, по-видимому, даже более важный. Неолитическая революция, как известно, была переходом от приспособления человека к условиям природы (собирательство, охота, рыболовство) к ее сознательному и целесообразному преобразованию. В этой деятельности люди достигли громадных успехов, распространив ее в конце концов на всю планету. Сейчас на поверхности земного шара практически нет неиспользованных или нетронутых территорий. Однако до определенного времени дело ограничивалось преобразованием того, что чувственно воспринимается чело-

веком, соизмеримо с его физическими силами. Предмет своего труда он видит, слышит, осязает — взаимодействует с ним непосредственно как живое телесное существо. Он остается в рамках биосферы — мира, адекватного ему как высшему порождению природы.

Этот мир принято называть макромиром.

Но постепенно, в ходе формопреобразующей деятельности открылись возможности более глубокого воздействия на окружающую среду. Человек начал проникать за пределы непосредственно данной реальности, получать результаты без прямого контакта с вещами. Расщепив атом, он включил в диапазон своего действия микромир — реальность новых масштабов — атомную, субатомную, не соизмеримую с его телесными, чувственными органами.

Другим полюсом несоразмерности деяния человека с ним самим как земным природным существом является выход в космос — его активность в масштабах мегамира. Таким образом, если в начале XX в. люди действовали в мире, соразмерном их чувственно-телесному бытию, то теперь границы их мира резко раздвинулись. В этом смысле научно-техническая революция — это освоение новых миров.

Потенциально природа дана человеку во всем богатстве ее бесконечных конкретных свойств и пространственно-временных состояний. Но выделение предметов исследования в ней и формирование окружающей человека действительности зависит от достигнутого уровня производства и культуры. Пустынные земли, бесполезные для людей еще в XIX в., в XX в. становятся источником величайшего богатства, хотя сами по себе они не изменились. Обычный и урановый песок различила практика, необходимость и технологическая возможность его добычи.

ЖИВОЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ЖИЗНИ

Современная научно-техническая революция привела к тому, что и в макромире, на самой Земле началось освоение недр и морских глубин, где нет жизни, овладение скоростями, с какими не перемещается ни одно живое существо. Используя искусственные приспособления, человек видит и слышит во много раз дальше и в большем диапазоне, чем позволяют его естественные органы, значение которых все уменьшается. Это, в свою очередь, ведет к снижению роли чувственного и возрастанию рациональ-

ного, мыслительного. В XX в. сфера деятельности людей заметно превысила сферу жизни, раздвинула ее границы и стала определяться достигнутой мощностью разума. Человечество вступило в ноосферу.

В условиях новейшего (информационного) этапа научно-технического прогресса деятельность человека начинает выходить за пределы не только его чувств, но и его мышления и воображения. Методологи говорят о принципиальной ненаглядности сверхсложных нелинейных систем, делают ставку на «безумные идеи», «немислимые мысли». Теоретическая физика в своих авангардных областях покидает трехмерное пространство и оперирует ненаглядным 10—11-мерным. Появляются все новые виды деятельности, где обычное человеческое мышление и чувства нас больше не ориентируют.

Происходит формирование компьютерной реальности, где человек полуприсутствует, проигрывая все действия при минимальном участии своего тела, например «играя» в хоккей по телевизору (гоняя шайбу световым лучом). При дальнейшем совершенствовании информационной техники для создания, допустим, кинофильма не понадобятся ни артисты, ни реквизит, ни натура. Клипы, которые мы сейчас смотрим на телеэкране, не столько отражают, сколько изменяют, трансформируют образ певца или артиста.

Критерием существования в таком телекомпьютерном мире является популярный операторский принцип: что вижу, то и имею, что воспринимаю, то и есть. Быть — значит присутствовать в восприятии. Появилось немало людей, для которых информационно-компьютерная реальность значимее объектной, ибо большую часть времени они живут в ней. Они не нуждаются в предметных прототипах.

Обобщая сказанное, придется констатировать факт огромного мировоззренческого значения: во второй половине XX в. сфера деятельности людей переходит в новое качество, которое является «постчеловеческим». Мир человека перестал быть равным его «дому». Природное бытие людей (узкий диапазон температур, давления, состава воздуха, в котором мы можем жить) вступает в противоречие с их действительной реальностью и при случайном непосредственном контакте с ней (радиацией, излучением, скоростью) терпит поражение. Собственно человеческая реальность стала частью действительной реальности. В современном мире все меньше мест и времен, в которых человек действует как целостное телесно-духовное существо. В этом глубин-

ная причина проблем экологии и кризиса гуманизма; в существовании человека возникает огромное напряжение по линии связи мысли и чувства, духа и тела, деятельности и общения. Живое за пределами жизни! Таков первичный, базовый смысл, определяющий «постчеловеческое» измерение мира.

НАШИ ЦЕЛИ — СРЕДСТВА?

Поскольку деятельность современного человека по самой своей сути опосредована техникой, машинами, наша цивилизация все чаще определяется как человеко-машинная. Человек становится компонентом, фактором некоей более общей целостности. Это проявляется в многочисленных частных случаях «факторности» человека.

Общие тенденции сейчас таковы, что благодаря развитию вычислительной техники, средств информатики многие операционно-технические, в том числе интеллектуальные, функции стали от человека уходить. Наметились такие тенденции развития техники, когда машина перестает быть средством деятельности в системах человек — машина, а в это средство превращается сам человек. История техники знает периоды, когда человек выступал в роли придатка к машине. Сейчас, уже на другом витке развития техники, вновь возникает эта опасная ситуация, когда не человек, а машина может оказаться подлинным субъектом деятельности. Соответственно социотехническая или человеко-машинная система теряют свойства «социо» и «человеко» и остаются техническими системами¹.

Основные вехи в переоценке положения человека в окружающем мире обычно связывают с именами Н. Коперника, Ч. Дарвина, Н. Винера. Коперник переместил нас из центра мира на периферию, тем самым лишив космической избранности. Дарвин показал, что в биологическом плане люди только один из многих видов, возникших в процессе органической эволюции, и тем самым лишил нас несоизмеримости с остальной живой природой. Винер поставил вопрос о соотношении человека с техникой, в перспективе способной к воспроизведению его действий. Но даже сейчас, до реализации подобных возможностей надо вовремя осознать изменившуюся роль техники. Ее уровень и внедренность во все сферы жизни ведут к качественному скачку в характере

развития человеческого общества. Техника перестает быть нейтральным средством деятельности, она в значительной мере задает наши цели, которые не являются независимыми от средств. И чем мощнее средства, тем мощнее это поле. Технические силы требуют приложения. Они обретают собственную логику обоснования и действия.

Тенденция к появлению внутренне присущих закономерностей и «интересов» присуща всей искусственно созданной реальности — технике, производству, социуму и, при широком понимании, культуре в целом. Признаки этого можно обнаружить в самых различных сферах жизни.

Практиковавшийся в последние годы в отношении социальных потребностей так называемый остаточный принцип нельзя расценивать только как результат застоя или чьей-нибудь злой воли. Такова стихийная логика производства (особенно ведомственного), и если ее сознательно не подчинять целям человека, производство способно полностью развиваться само для себя. (Строительство электростанций нужно для выработки энергии, энергия нужна для производства стали, сталь нужна для производства цемента, а цемент нужен для строительства электростанций. И так каждый цикл с приращением.) Такова логика, как теперь говорят, «индустриального эгоизма».

В свете задач преодоления остаточного принципа нового обдумывания заслуживают стратегические планы роста нашей экономики: к 2000 г. предполагается удвоение производственного потенциала. В абсолютных величинах это грандиозные объемы, чреватые роковой нагрузкой на природную среду. Занять почти столько же территории, выработать вдвое больше энергии, присовокупить почти столько же вещей и отходов! С барского стола, за которым пируют машины и технология, живому человеку, их конкретному творцу и слуге, перепадают крохи.

Отдельные сферы производства также имеют свои закономерности движения. Специалисты хорошо знают о феномене саморазвития транспортных сетей. Дороги легче появляются там, где они уже есть. Проекты реконструкции городов разрабатываются под сильным влиянием технических закономерностей распределения транспортных потоков, диктующих их неременное замыкание (кольцевание), наличие развязок, освобождение прилегающих территорий и т. д., без чего они теряют свою эффективность, но что очень часто вступает в резкое противоречие с задачами сохра-

¹ Зинченко В. П. // *Вопр. философии*. 1986. № 7. С. 61.

нения исторической среды, тишины, чистоты и другими потребностями горожан. Что возведение нового тракторного завода в Елабуге было вызвано желанием задействовать освобождающиеся на КАМАЗе строительные мощности — представляется почти очевидным. Тракторы в нашем сельском хозяйстве достаточно, и не хватает трактористов. Перепрофилирование данного завода на производство легковых автомобилей — победа над ведомственностью, хотя считать ее примером победы целей над средствами все-таки нельзя. Строительство Амуро-Якутской магистрали решает проблему задействования мощностей, освободившихся на БАМе. Но сам БАМ до сих пор в полную силу не работает, и прилегающих к нему территорий вполне достаточно для освоения на несколько десятилетий. Борьба общественности против «проекта века» — поворота северных рек — наглядный пример, пока наиболее успешный, борьбы с тенденциями к саморазвитию отрасли.

За многими трудностями международной жизни, безумием гонки вооружений стоит «ум» частного интереса и собственная логика научно-технического развития, во многом формирующего мысли и цели людей. Теперь нередко необходимость прогресса обосновывается просто прогрессом, а главный аргумент в его пользу — неотвратимость: «все равно не остановишь». На тех же основаниях мы примиряемся со смертью. В большинстве европейских стран не верят в эффективность СОИ, но считают нужным принять в ней участие, мотивируя это потребностью быть в курсе технологических достижений. «Внешние» по отношению к производству цели даже не придумываются, и прогресс ради прогресса становится как бы нормой.

На самых высоких политических уровнях признано, что в случае осуществления СОИ человечество утратит контроль над решениями о войне и мире. Война может разразиться помимо воли людей. Это будет буквальная реализация «постчеловеческой» роли техники, ее тенденций к саморазвитию. Но и противники СОИ в западных странах считают, что от нее можно отказаться, только выдвинув адекватную по трудности технологическую программу работ в космосе, например полет на Марс, как бы дорого это ни стоило. Безуспешными были все дискуссии, направленные на прекращение работ по генной инженерии и биотехнологии, несмотря на угрозу того, что их следствием может оказаться ослабление защитных сил организма людей (на реальность такой воз-

можности указывает, например, пандемия СПИДа).

Потребности производства не тождественны потребностям человека и соотносимы с ними весьма опосредованно, а конкретно они могут вступать в противоречие не только с экологией, но и с гуманизмом. Вряд ли кто будет оспаривать экономическую рациональность 2—3-сменной работы заводского оборудования, но столь же очевидно, что ночной труд неестествен для человека, противоречит биологическим ритмам его существования. Это своего рода «загрязнение времени». Какова цена врачебных советов ложиться спать в один и тот же час с точностью до 10 мин всем, кто страдает расстройством сна, а таких миллионы, и какова цена различным вычислениям циклов ума, чувства и физической силы человека! (Одна из революционных вспышек в прошлом веке во Франции началась с отказа булочников Парижа от выпечки хлеба по ночам. Они сочли, что ради чьей-то прихоти иметь на завтрак горячие булки не стоит жертвовать естественными жизненными потребностями.)

В литературе появились некоторые обобщающие констатации подобного рода противоречий. «Сегодня общество руководствуется не только гуманистической рациональностью (назовем так ориентацию на удовлетворение потребностей и интересов человека)... На практике могут столкнуться и сталкиваются интересы производственные и социальные, принцип рентабельности и гуманистические соображения»².

По моему мнению, тенденции к превращению средств в цели есть выражение агрессивности искусственного мира, наличия у него «постчеловеческого» измерения, и противостоять им без предварительного признания этого феномена невозможно. Он имеет много других форм проявления — сверхсложность, сверхкапиталоемкость, сверхтехнологичность, информационное перенасыщение и прочие проблемы, которые надо изучать и искать какие-то решения. Вообще, «страусиный гуманизм» только вредит. Ввиду уверенности некоторых специалистов в возможности создания искусственного интеллекта, равного, а значит, в будущем превосходящего человеческий, надо допустить принципиальную неединственность интеллекта человека, считаться с перспективой его развития во внечеловеческий, «постчеловеческий». И трезво глядя

² Крутова О. Н. // Философские науки. 1987. № 1. С. 25.

в глаза проблеме, не застилая их ни пленкой оптимистической глупости, ни слезами, поставить вопрос о месте человека в этой новой ситуации. Надо поставить вопрос о его роли в диалоге с техникой и — шире — с «постчеловеческой» реальностью, борясь за то, чтобы она не превратилась в бесчеловеческую, чтобы мир, в котором человек «не один», не превратился в мир без человека. Обсуждаемый повсеместно, поднятый на политическую высоту вопрос о преодолении технократизма как условия нашего выживания надо понять и философски.

КУЛЬТУРА КАК БЫТИЕ

Причины сциентизма и технократизма нельзя понять без выявления их онтологических корней. «Страшно все техническое, — писал М. М. Бахтин, обсуждая проблему отрыва культуры от конкретного живого человека, — отданное закону своего развития, оно может время от времени врываться в это единственное единство жизни как безответственно страшная и разрушительная сила»³. С законами развития объективной реальности, будь то естественная или искусственная, не считаться нельзя, но человек не раб законов природы, таким же образом он может овладевать законами развития искусственной реальности, если, для начала, признает их «бытийность», определенную независимость от человека, их «постчеловеческий» характер. Осмысление этих проблем заставляет сделать вывод, что при достижении какого-то определенного уровня сложности мира, возникшего в результате человеческой деятельности, происходит его «отпадение» от своего творца.

Тенденции к самостоятельному развитию проявляются и в сфере производства знания — науке. Оказывается, что эффект познания «определяется не столько «таинственными» творческими способностями, сколько системами правил, и в первую очередь такими, которые способны генерировать новые правила. В этом смысле и само теоретическое знание как система гипотез, законов и допущений может быть понято как матрица или система матриц, продуцирующих различные правила интеллектуальной и предметно-практической деятельности»⁴. Хорошо бы это опровергнуть, но как

ни обидно для нас, людей, привыкших считать себя единственными субъектами творчества, лучше это признать, не прятаясь от фактов. Однако, в отличие от авторов процитированной статьи, и озабочиться таким положением, поставить проблему соотношения творческих способностей субъекта и саморазвития науки. В настоящее время иногда создается впечатление, что ее действительно делает великий «Никто». Невольно вспоминается печальная шутка польского юмориста Станислава Ежи Леца: наука и техника так совершенствуются, что человек скоро сможет обойтись без самого себя.

К сожалению, охотников переживать драматизм ситуации человека в «постчеловеческом» мире немного. Дialeктике легче присягать, чем следовать. Обычно предпочитают либо предаваться утешительной иллюзии, что человек всегда будет оставаться субъектом и хозяином сотворенного им мира, либо с энтузиазмом мазохистов развенчивают эту субъективность, полностью отождествляя человека с «фактором», лишая его творческой перспективы, а в конце концов и места в возникающем новом прекрасном компьютеризованном мире. Хотя вопрос о диалоге, коэволюции, «высоком соприкосновении» человека с наукой и техникой в нашей литературе поставлен, открыт, должного отклика он пока не нашел. Соответствующих его важности философских работ явно мало⁵.

Между тем тенденция к субстанциализации науки, техники отражается и в методологических спорах, в частности, сторонников методологического индивидуализма и методологического коллективизма. Преобладает вторая ориентация, установка на то, что в познании надо исходить из целого, а не из элементов, из общества, а не из индивида (так называемый социоцентризм), начинать с идеи (гипотезы), а не с факта. Сначала это считалось приемом «гносеологического оборачивания», теперь же как бы онтологизировалось, вследствие чего можно с уверенностью говорить о кризисе эмпиризма, редукционизма, традиционного естествознания, с одной стороны, и приоритете системности, теоретизма, проектно-технической науки — с другой.

Обобщая все эти тенденции, сошлемся на мнение В. П. Визгина. «Знание о мире, — пишет он, — это тоже своего рода мир. (...) В принципе, любое творение... выводящее человека на контакт с бытием, ведет себя

³ Бахтин М. М. К философии поступка // Философия и социология науки и техники. Ежегодник. М., 1987. С. 87.

⁴ Ракитов А. И., Андрианова Т. В. // Вопр. философии. 1986. № 11. С. 78.

⁵ Моисеев Н. Н., Фролов И. Т. // Вопр. философии. 1984. № 9. С. 24—35.

как мир, т. е. как автономное образование, наделенное бесконечностью значений, открытое для дальнейшего явления и бросающее своей "неисчерпаемостью" вызов человеку как своему творцу»⁶.

Как всякая серьезная мировоззренческая идея, признание собственной бытийности (независимого онтологического статуса) культуры и, следовательно, наличия у нее «постчеловеческого» измерения ценно тем, что, расширяя горизонт наших представлений о мире, освещает, выводит из тупика многие частные проблемы. Теперь, например, гораздо плодотворнее обсуждать, каким образом, почему и в каком смысле культура, особенно в ее научно-технической ипостаси, может нести человеку как добро, так и зло, не удовлетворяясь тезисом, что все дело в применении, в технике. Этот тезис давно уже работал со сбоями, ибо не давал объяснения, почему проблемы, вызванные научно-техническим прогрессом, носят глобальный характер. Социализм открывает возможность их более гармоничного решения, «приведения к человеку», подчинения экономической рациональности гуманистической, но не отменяет как таковые. Благо не имеет однозначных и необходимых гарантий осуществления. Даже при самом совершенном общественном устройстве за него надо бороться.

Нельзя сказать, что человек когда-либо полностью властвовал над обстоятельствами. Вместе с тем его могущество в овладении природной стихией росло, и одновременно крепло убеждение, что в конце концов он будет хозяином мира. Сейчас обнаружился как бы внутренний кризис могущества человека, обостривший проблемы экологии, гуманизма, общим знаменателем которых является становление «постчеловеческого» мира. Оказывается, что «вторая природа» развивается по законам, с которыми надо считаться как с объективными, а стихийность может носить сознательный, например «управленческий», характер (стихия волюнтаристских решений и действий). Перспективы всемогущества и благоразумия человека омрачились, они требуют более осторожного, альтернативного рассмотрения.

ВЫЖИВАНИЕ: АЛЬТЕРНАТИВЫ И НАДЕЖДЫ

Какие бы трудности ни сулило будущее, люди должны жить, и, следовательно,

у них нет выхода, кроме как быть оптимистами. Мы можем надеяться на выживание, если выберем, в той мере, в какой от нас зависит, правильную стратегию деятельности. Проблему выживания нельзя связывать только с предотвращением мировой войны. Она, как признает большинство ученых, пишущих на эту тему (например, в докладах Римскому клубу), гораздо глубже.

В общественной мысли развитых стран идет интенсивный поиск альтернатив негативным тенденциям современного научно-технического прогресса. Безоглядный технологический оптимизм и его антиподы — пессимизм и технофобия — все больше вытесняются альтернативными подходами, начинающими задавать тон в сфере прогностики и футурологии. Теперь мало кто сомневается, что промышленная экспансия в ее нынешнем виде может продлиться от силы еще несколько десятилетий. Но ясно также, что бороться против техники вообще, являющейся условием благосостояния людей, бесперспективно и безответственно. Если из различных модификаций альтернативных подходов попытаться извлечь их суть, то ее можно определить как движение к технологии «с человеческим лицом», т. е. технологии, соразмерной человеку. Все это опять-таки представляется по-разному. Наибольшим влиянием, пожалуй, пользуются идеи, выдвинутые еще в 70-е годы Е. Шумахером, с его лозунгом «малое — это прекрасно». В его последней книге подчеркивается, что, наряду с ориентацией на соразмерную человеку технологию, на чистые источники энергии и экономию сырья, необходимо вести другой, гуманистический образ жизни, формировать другую среду обитания, руководствоваться новой моралью⁷.

Такого рода идеи имеются и в советской литературе, вокруг них ведутся острые споры, существуют несовпадающие точки зрения. К сожалению, в силу сложившейся традиции, наши философы до сих пор предпочитали это не особенно обнародовать (*sapienti sat* — умному достаточно, а остальным, не специалистам, знать разные мнения необязательно). Выделяются две линии, соответствующие основным сторонам противоречия в бытии современного человека. Одна — на всепоглощающее развитие искусственной реальности самой по себе, как само-

⁶ Визгин В. П. Культура — знание — наука // Наука и культура. М., 1984. С. 62.

⁷ См.: Schumacher E. F. Good Work. L., 1980, а также Brown L. Building a Sustainable Society. N. Y., 1984; Stokes B. Helping Ourselves (Local Solutions to Global Problems). N. Y., 1982.

ценной, в перспективе не нуждающейся в человеке, оставляющей его позади себя, другая — на его адаптацию к стремительно меняющимся условиям, на максимально возможное сохранение естественной среды обитания. В более принятых терминах это линии на «экологическое производство» и на «экологизацию производства».

За небольшими грамматическими различиями здесь скрываются принципиально разные мировоззренческие ориентации. Особенно наглядно это проявилось, например, в коллективном труде «Взаимодействие общества и природы». В частности, в статье Е. Т. Фаддеева проводится мысль, что вмешательство в природную среду должно состоять «в первую очередь в переделке, так сказать, субстрата, в изготовлении, производстве новых, все более крупных компонентов природного окружения, причем с заранее заданными свойствами, что должно, по логике вещей, привести в конце концов к получению новой земной среды»⁸. Искусственные микросреды в замкнутых объемах уже существуют — для водолазов, на подводных лодках, в экспериментальных устройствах типа фитотронов, на ряде оснащенных новейшей техникой предприятий и на космических кораблях. Это «мини-прообразы» нового способа бытия человека. Большинство других авторов сборника склоняется к стратегии экологизации производства. «Что перспективнее в процессе проведения генеральной экологической стратегии — коренная переделка окружающей среды и организация экологического производства... или же ориентация на такое использование ее ресурсов, которое минимально бы ее преобразовывало и включало бы также "нетронутые" естественные факторы в процессе интенсификации?» — формулирует проблему А. Д. Урсул, подчеркивая, что «такой вопрос, кроме методологического, имеет явно выраженный экономический аспект, ибо организация экологического производства потребует гораздо больших затрат, нежели проведение стратегии более эффективного использования "естественных резервов" окружающей среды для интенсификации»⁹.

Дело, однако, не только в экономике и методологии. Экологическое производство с его перспективой для человека «стать водолазом на собственной земле» — это линия на превращение «постчеловеческо-

го» мира в бесчеловеческий. Внешняя (окружающая) и внутренняя (телесная) природа людей неразрывно связаны. Закон соответствия организма и среды нарушить невозможно, поэтому целиком искусственное окружение несовместимо с бытием человека как естественного существа. Техносфера развивается быстрее биосферы, и индивид не будет успевать приспосабливаться к жизни в чисто искусственном окружении. Да и можно ли производство, предполагающее замену природной среды искусственной, считать экологическим? Ведь имитироваться будут даже не функции, а субстраты.

Эта стратегия ведет к выхолащиванию экологии, потере ее смысла (биологи могут уже сейчас выбрасывать свои «Красные книги» с их тысячами видов животных и растений), к тому, что из деятельности по сохранению и преобразованию природы экология превращается в деятельность по ее отрицанию. Это путь внеприродного развития, и если мы намерены сохранять за понятиями какое-то содержание, его нельзя считать экологическим. Несомненным преимуществом с точки зрения перспектив человека обладает стратегия экологизации производства, которая, не ставя преград технологическому прогрессу как таковому, предполагает его направленность на коэволюцию с естественной средой обитания людей и, более того, на ее улучшение.

Если «постчеловеческий» мир, «образуется сам», то о сохранении мира в состоянии, пригодном для существования человека, надо специально заботиться, прилагая сознательные усилия. В этом заключается смысл призывов «бороться за выживание». Методологически они опираются на положение об альтернативности развития, о свободе выбора. Тезис «прогресс не остановишь» верен в том плане, что мы не можем перестать действовать, однако неверно, что характер, цели деятельности при одних и тех же средствах не могут варьироваться, хотя, конечно, в определенных пределах. Строгие логико-математические разработки в русле синергетики показывают неоднозначность, «ветвистость» процессов, наличие в них точек бифуркации¹⁰. Это говорит об объективных возможностях выбора пути развития. Как ими воспользоваться, будет ли выбор правильным, оптимальным, зависит от нашей зрелости.

⁸ Взаимодействие общества и природы. М., 1986. С. 221.

⁹ Там же. С. 91.

¹⁰ См., напр.: Моисеев Н. Н. Глобальный эволюционизм и коэволюция // Природа. 1989. № 4. С. 3—8.

«ЧЕЛОВЕК НАСТОЯЩИЙ» ИЛИ «ЧЕЛОВЕК БУДУЩЕГО»?

В свете проблемы выживания критической оценки заслуживают проекты будущего «нового человека» — на Земле или в космосе, в социальном или биотехническом исполнении, но во всех случаях игнорирующие природу, характеристики и потребности живого реального индивида. В последние годы, с началом перестройки в нашей стране не ставится задача «формирования нового человека», а говорится о развитии существующего, о помощи ему в преодолении жизненных трудностей. Это изменение мировоззренческих установок закреплено сейчас в официальных документах. Более трезвый подход нужен и к идеям так называемого «русского космизма», активизировавшимся в связи с обострением глобальных проблем и успехами практической космонавтики. Мечты об автотрофном питании, о «сверхчеловеке» будущего логически ведут к «преодолению» земных людей. Они как бы предвосхищают конечную цель экологического производства. Тайна сверхчеловека — «постчеловек». Это искусственный разум, первые прототипы которого рядом с нами — все более совершенствующиеся компьютерные системы. Может быть, их в самом деле придется считать сверхлюдьми, и они действительно автотрофны, может быть, они станут бессмертными, как полагали К. Э. Циолковский и В. И. Вернадский, но они будут — не мы. Они — другое.

В западной философии примером сциентистского преодоления или, для начала, «усечения» человека являются взгляды немецкого философа техники Х. Шельского, его утверждения о необходимости разрыва

с «традиционным», «прошлым», «историческим» человеком — с гуманизмом. Поскольку наука и техника порождены человеком, то он может найти полное удовлетворение в отождествлении себя с ними, если отбросит не вписывающиеся в эту установку потребности и чувства. Можно сказать, что этот проект — яркое идейное воплощение «постчеловеческого человека», его апология. Проблема отчуждения здесь решается с другой стороны — не гуманизацией реальности, а дереализацией гуманизма. Техническому миру соответствует технический человек. Однако очевидно, что он все равно будет соответствовать ему плохо. Лучше всего это могут обеспечить роботы с искусственным интеллектом.

Мы же, люди, живые и смертные, кто не хочет быть слепым орудием стихийного развития «постчеловеческого» мира, должны быть озабочены другим — выражением и защитой интересов настоящего, «традиционного» человека. Идеологией выживания естественного человека в искусственной среде может быть только коэволюция, предполагающая сосуществование различных форм бытия, сотворчество человека как с природой, так и с миром машин, диалог, ориентацию на, общение, на выявление границ технической деятельности, на ценностный подход к науке, на нравственную регуляцию ее поисков и их соотношение с идеалами гуманизма. Только с этих позиций можно дать ответ на вызов «новых» миров, бросаемый человеку в разных сферах его бытия. Коэволюционный *modus vivendi* (способ существования) современного человека — условие его выживания в «постчеловеческом» мире.

ВНИМАНИЮ ДЕЛОВЫХ ЛЮДЕЙ!

«Природа» публикует рекламу советской и зарубежной промышленной продукции и различных видов услуг, которые могут быть полезны научным и учебным учреждениям, а также любителям природы.

Рекламный текст направляется в редакцию журнала с гарантийным письмом и указаниями почтового адреса, телекса, телефона и банковского счета рекламодателя

по адресу:

117049, ГСП-1, Москва, Мароновский пер., 26, «Природа»
международный телекс 411612 IZAN
тел. 238-24-56

Л. Д. Фаддеев

Математический Взгляд на ЭВОЛЮЦИЮ физики



Людвиг Дмитриевич Фаддеев, академик, заместитель директора Математического института им. В. А. Стеклова АН СССР, директор Международного математического института им. Л. Эйлера. Основные научные интересы связаны с современной математикой, физикой. Лауреат Государственной премии СССР, премии им. Д. Хейнemann по математической физике Американского физического института и Международной премии по математике Парижского страхового общества. Иностранный член Американской академии наук и искусств, Финской академии наук и литературы, Польской академии наук.

РАСКРЫТИЕ тайны структуры материи является прерогативой физики, экспериментальной и теоретической. Исторический ход новых открытий идет по уже ставшей привычной линии: ключевой эксперимент — абстракция и создание теоретической картины — новые предсказания — подтверждение их на опыте. Типичный и поучительный пример — создание классической теории тяготения от Галилея и Ньютона до успехов вычислительной астрономии в прошлом веке и опытов Этвеша. Теоретическая механика и классическая электродинамика также возникли на этом пути развития физики. Более или менее то же самое можно сказать и об основных достижениях физики начала нашего века — формулировке релятивистской динамики и квантовой теории. Исключение составляет третье важнейшее открытие того же времени — теория тяготения Эйнштейна, появившаяся как теоретическое изобретение человеческого ума и лишь впоследствии подтвержденная на опыте.

Сформировавшаяся физическая теория наиболее адекватно формулируется на математическом языке. И если законы механики еще можно выразить обычными, понятными словами («действие равно противодействию»)¹, то для электродинамики сделать это уже труднее, а для квантовой механи-

ки просто невозможно. Существующие попытки популяризации квантовой механики состоят в основном в обсуждении парадоксов, но не дают ее содержательного описания. Таким образом, именно в нашем веке окончательно определилась роль математики как незаменимого языка физики.

Эта роль математики часто поражает (а иногда и раздражает) представителей физических наук. Известный физик Ю. Вигнер написал специальное эссе под названием «Непостижимая эффективность математики в естественных науках»². Большое внимание этой теме уделял в последние годы своей жизни В. Гейзенберг. Мою статью можно рассматривать как продолжение дискуссии о взаимоотношениях физики и математики, вызывающей все более глубокий интерес в последнее время.

Не будучи философом, я не стану брать на себя задачу объяснить, почему фундаментальные физические законы формулируются только на математическом языке.

¹ Не могу удержаться и сделаю замечание об образности физического языка. К примеру, сочетание слов «степень свободы» у непрофессионала вызывает ассоциации о большей или меньшей свободе, в то время как для профессионала это то же самое, что и сухой математический термин «координата».

² См. в кн.: Этюды о симметрии. М., 1971. С. 182.

Замечу, что на первый взгляд убедительный довод о том, что математика, являясь абстракцией реальных отношений в окружающем мире, тем самым оказывается приспособленной для окончательной формулировки этих отношений, слишком прямолинеен и наивен. Это убедительно иллюстрируют два классических примера из истории науки.

Геометрия, появившаяся в древнее время для измерения земельных участков, навигации и других практических дел, была превращена в абстрактную логическую схему трудами египетских и греческих ученых. Постулаты Евклида завершили формулировку этой схемы. Средневековые ученые потратили невероятные усилия на доказательство логической зависимости пятого постулата Евклида от первых четырех. Это внутреннее развитие математики не имело никакого отношения к практике. Его кульминацией стало построение непротиворечивой геометрии, в которой пятый постулат не выполнялся. Это было сделано Н. И. Лобачевским в начале прошлого века. Первые примеры неевклидовой геометрии были обобщены Б. Риманом, что привело к созданию римановой геометрии, доведенной до совершенства трудами итальянских и немецких ученых. Подчеркнем еще раз, что это было внутренним логическим развитием чисто математических идей, т. е. продуктом человеческого ума, а не отражением объективных закономерностей природы. Конечно, и Лобачевскому, и Риману — гениальным ученым — было очевидно, что их создание найдет место в описании природы, скажем в построении космогонии. Однако фундаментальное приложение их идей к физике нашлось лишь в теории тяготения Эйнштейна. Итак, приверженцы критикуемого довода должны ответить на вопрос: почему язык, созданный для собственных нужд математики как игры ума, нашел свое место в физике — теории тяготения, которая к тому же во всей своей полноте никаким другим средством не может быть описана.

Второй пример, ведущий к аналогичному вопросу, связан с развитием алгебры. Алгебраические уравнения как средство решения конкретных жизненных проблем были абстрагированы арабскими учеными в начале средневековья, и сотни лет затем специалисты искали способы решения уравнений в радикалах. Конец этой драматической истории был положен работами Э. Галуа, который доказал несостоятельность надежд на такое решение и одновременно заложил основы новой алгебраической отрасли — теории групп. Трудом многих ученых прошлого века эта теория была развита, в частности

С. Ли перенес ее на дифференциальные уравнения, положив начало теории непрерывных групп. И вот уже в прошлом веке теория групп послужила основой описания структуры кристаллов, а в наше время ее язык незаменим при описании всевозможных симметрий. Более того, динамика, т. е. развитие системы со временем, самым естественным образом описывается в терминах динамической группы. Так, описание релятивистского движения отличается от классического лишь выбором такой группы — неоднородной группы Лоренца (или группы Пуанкаре) и группы Галилея, соответственно.

Подобные примеры можно множить, но и приведенных достаточно для демонстрации «непостижимой» эффективности математики в физике. Не будем пытаться объяснить это свойство математики и примем за факт то, что по мере все более глубокого понимания структуры материи законы физики будут неизбежно формулироваться на языке математики. Отправляясь от этой посылки, естественно попытаться погадать, как может развиваться физика в будущем³. К сожалению, даже в популярной статье нельзя этого сделать, если не сформулировать основные структуры физической теории. И сделать это придется, конечно, на языке математики. Для читателя, следующего за нами, это уже не удивительно.

Основными понятиями, участвующими в формулировке физической теории, являются наблюдаемые и состояния. Наблюдаемые (термин, впервые введенный Дираком при описании основ квантовой механики) — это всевозможные характеристики физической системы (координаты, моменты, энергия и т. п.). Набор наблюдаемых, характеризующих данную систему, обозначим буквой Γ , а за конкретными наблюдаемыми закрепим буквы A, B, C и т. д. Возможные изменения наблюдаемых описываются при помощи состояний. Множество состояний обозначим через Ω а его элементы через ω, μ и т. д. Каждое состояние ω сопоставляет каждой наблюдаемой результат ее измерения в определенных условиях эксперимента — функцию распределения $\omega_A(\lambda)$. Численно $\omega_A(\lambda)$ равна вероятности получить значение, не превосходящее λ при измерении

³ В поучительной беседе, происходившей в поезде Ленинград — Москва, мой уважаемый коллега академик Б. Б. Пиотровский назвал меня самоуверенным человеком, когда я сказал ему, что для меня математика позволяет предсказывать будущее на основании опыта, накопленного в прошлом нашими предками. Такова разница исторического и математического взглядов на природу и ее познание.

наблюдаемой A в состоянии ω . Таким образом, $\omega_A(\lambda)$ есть монотонная положительная функция переменной λ , пробегавшей вещественную ось, причем $\omega_A(-\infty)=0$; $\omega_A(+\infty)=1$. Среднее значение величины A в состоянии ω дается числом⁴

$$\langle \omega | A \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} \lambda d\omega_A(\lambda).$$

Естественно считать, что состояний достаточно много для разделения множества наблюдаемых, т. е. две наблюдаемые считаются совпадающими, если они имеют одинаковые средние значения во всех состояниях. Если угодно, в этом состоит познаваемость мира.

Уже из сказанного следует, что множество наблюдаемых является вещественным линейным пространством, т. е. наблюдаемые можно складывать и умножать на вещественные числа. Наблюдаемые $A + B$ и kA , где k — вещественное число, определяются как имеющие средние

$$\begin{aligned} \langle \omega | A + B \rangle &= \langle \omega | A \rangle + \langle \omega | B \rangle, \\ \langle \omega | kA \rangle &= k \langle \omega | A \rangle. \end{aligned}$$

Более того, мы понимаем, что значит функциональная зависимость между наблюдаемыми. Если $\varphi(\lambda)$ — вещественная функция вещественной переменной λ , то наблюдаемая $\varphi(A)$ определяется посредством формулы

$$\langle \omega | \varphi(A) \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(\lambda) d\omega_A(\lambda).$$

Независимое и интуитивно менее ясное требование связано с формулировкой динамики системы. Для этого в множестве наблюдаемых вводится бинарная операция: каждой паре наблюдаемых B и A сопоставляется наблюдаемая $\{B, A\}$, обладающая свойствами, определяемыми чуть ниже. Эта операция позволяет строить эволюцию всех наблюдаемых, если задать некоторую выделенную наблюдаемую B и соответствующий ей параметр эволюции s . Это движение $A \rightarrow A(s)$ задается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dA}{ds} = \{B, A(s)\}, \quad A(0) = A.$$

Естественно требовать, чтобы выделенная величина B не менялась при порожденном им движении, т. е. $\{B, B\} = 0$. Согласованность движений с уже введенными в алгебре наблюдаемых структурами приводит к соотношениям:

$$\{aA + bB, C\} = a\{A, C\} + b\{B, C\}$$

и

$$\{A, \{B, C\}\} + \{B, \{C, A\}\} + \{C, \{A, B\}\} = 0,$$

т. е. превращает множество наблюдаемых в алгебру Ли⁵. Кроме того, должно выполняться свойство инвариантности функциональной зависимости

$$\varphi(A(s)) = \varphi(A)(s).$$

Приведенные формулы должны дать читателю некоторое ощущение, как самые общие закономерности физики записываются на языке математики. Необходимый для понимания объем математических знаний в основном не выходит за рамки курса математики технического вуза.

Важно, что существующие основные физические теории являются конкретными реализациями этой схемы. Возьмем классическую механику. С точки зрения математики основную роль в ней играет фазовое пространство, определяемое обобщенными координатами q и импульсами p системы. Наблюдаемые — это вещественные функции $f(p, q)$ на фазовом пространстве. Ясно, как их складывать и умножать на числа. Если $\varphi(f)$ понимать как последовательное действие (суперпозицию) функций φ и f , то состояния, обладающие введенными выше свойствами, определяются однозначно (замечательное и нетривиальное математическое утверждение) и задаются мерами в фазовом пространстве. Функция распределения наблюдаемой f строится по мере ω следующим образом:

$$\omega_f(\lambda) = \int_{f(p, q) \leq \lambda} d\omega,$$

т. е. как мера части фазового пространства, ограниченной линией уровня $f(p, q) = \lambda$.

Структура фазового пространства позволяет ввести так называемую скобку Пуассона $\{f, g\}$ наблюдаемых f и g . Для нас

⁴ Обозначение $\langle \omega | A \rangle$ для среднего значения наблюдаемой не следует путать с часто используемым в квантовой механике обозначением Дирака для скалярного произведения векторов. (Прим. ред.)

⁵ Простейшим примером операции $\{A, B\}$, для которой выполняется последнее из выписанных соотношений, является векторное произведение векторов в трехмерном пространстве.

не важна ее явная запись, скажем только, что все условия согласованности, о которых говорилось выше, для нее выполняются. Развитие системы со временем t дается уравнением Гамильтона

$$\frac{df}{dt} = (H, f),$$

где роль выделенной наблюдаемой, связанной со временем, играет наблюдаемая H , называемая энергией.

Квантовая механика является другой реализацией этой схемы. Здесь мне придется обратиться к понятиям, выходящим за рамки курса математики технического вуза. Ничего не поделаешь, современная физика требует математики во всем ее современном объеме. Для понимания основной линии этой статьи знание смысла каждого термина следующего абзаца не существенно. Важно поверить, что в квантовой механике действует та же самая общая схема, что и в классической, и именно та, которую мы уже описали в общем виде.

В наиболее привычной записи квантовой теории роль наблюдаемых играют самосопряженные операторы A, B, C в некотором (вспомогательном) гильбертовом пространстве. Состояниям соответствуют положительно определенные операторы $M, N, \dots$ со следом, равным 1. Функция распределения наблюдаемой A в состоянии M дается формулой

$$\omega_A(\lambda) = \text{tr}(MP_A(\lambda)),$$

где символом tr обозначен след в гильбертовом пространстве, а $P_A(\lambda)$ — спектральная функция оператора A . Число степеней свободы определяется как число функционально независимых коммутирующих наблюдаемых.

Итак, классическая и квантовая механики систем с конечным числом степеней свободы представляют собой реализации одной и той же общей схемы. Электродинамика также является ее реализацией, но число степеней свободы здесь уже бесконечно. Классическая и квантовая реализации, конечно, неэквивалентны; это очевидно хотя бы потому, что конкретные предсказания этих теорий по одному и тому же поводу, как правило, различны. Мы рассмотрим их взаимоотношение подробнее.

Сделаем, однако, сначала несколько замечаний по поводу нашей общей схемы после того, как описаны главные ее реализации.

1. Тот факт, что классическая механика

является такой реализацией, наводит на мысль, что эту схему можно было бы сформулировать еще в прошлом веке. Далее, если бы это было сделано, скажем, У. Гамильтоном или Дж. Гиббсом, то попытки найти другие ее реализации можно было бы начать умозрительно. Однако до сих пор физика так не развивалась, и квантовая механика была открыта на другом, традиционном пути.

2. Сама схема появилась уже после открытия квантовой механики при описании ее общей структуры. Основополагающую роль здесь сыграл П. Дирак. Только затем было осознано, что классическая механика является другой реализацией той же схемы. Лично я познакомился с этими соображениями по работам моих американских коллег И. Сигала и Дж. Мэки.

3. Часто приходится слышать, что квантовая механика «недетерминистична», поскольку в ее формулировке используется понятие вероятности. Это явное заблуждение. Мы уже видели, что функция распределения как состояние появляется как в квантовой, так и в классической механике. Отличительной чертой классического случая является лишь то, что в чистых (неразложимых) состояниях все наблюдаемые имеют точные значения, в то время как в квантовом случае наблюдаемые имеют точные значения лишь в собственных чистых состояниях. Возможно, что это замечание слишком профессионально. Пропуская специальные термины, читатель должен просто поверить, что с детерминистичностью в квантовой механике все в порядке.

После этих замечаний вернемся к более подробному обсуждению взаимоотношения классической и квантовой механики. Для этого удобно описывать их по возможности одинаковыми объектами. Мы уже отмечали, что наблюдаемые фактически определяют состояния (математик скажет, что множество Ω двойственно Γ). Поэтому мы сосредоточимся на наблюдаемых. Существует способ описывать наблюдаемые квантовой механики функциями $f(p, q)$ в классическом фазовом пространстве. Но, конечно, основные структуры — понятие функции $\psi(f)$ и скобка $\{f, q\}$ — отличаются от суперпозиции функций и скобки Пуассона. Более того, в конкретной записи этих структур в квантовом случае появляется параметр — знаменитая константа Планка $\hbar$. Другими словами, существует однопараметрическое семейство таких структур, и классической механике соответствует значение $\hbar$, равное нулю. Снабжая все структуры индексом $\hbar$, можно представить себе квантовые операции как ряд по

степеням $\hbar$ (вообще говоря, бесконечный):

$$\{f, g\}_\hbar = \{f, g\}_{\hbar=0} + \hbar \{f, g\}^{(1)} + \hbar^2 \{f, g\}^{(2)} + \dots$$

и

$$\varphi(f)_\hbar = \varphi(f)_{\hbar=0} + \hbar \varphi^{(1)}(f) + \hbar^2 \varphi^{(2)}(f) + \dots,$$

где операции $\{f, g\}^{(i)}$, $\varphi^{(i)}(f)$, $i = 1, 2, \dots$ подобраны так, что как $\{f, g\}_{\hbar=0}$, $\varphi(f)_{\hbar=0}$, так и $\{f, g\}_\hbar$, $\varphi(f)_\hbar$ удовлетворяют требованиям нашей схемы.

Конечно, в настоящей квантовой механике параметр $\hbar$ имеет конкретное значение: $\simeq 10^{-27}$ гсм² с⁻¹; существование «семейства квантовых механик» есть еще один пример математической игры ума. При этом математики в подобных случаях говорят о деформации структур. Используя этот математический термин, можно сказать, что квантовая механика является деформацией классической, причем константа Планка $\hbar$ играет роль параметра деформации.

Сделанное утверждение представляет собой краткую и точную формулировку принципа соответствия. Для математика-профессионала в ней ничего не прибавишь и не убавишь. Многословное объяснение принципа соответствия в популярной литературе с этой точки зрения есть просто беллетристика.

Мы вплотную подошли к наиболее важному месту этой статьи. Дело в том, что в математической теории деформации алгебраических структур существует понятие устойчивой структуры. Говорят, что структура устойчива, если все близкие к ней ее деформации ей эквивалентны. Так вот, с этой точки зрения квантовая механика является устойчивой, в отличие от классической, допускающей неэквивалентную деформацию — квантовую механику. Именно с этой неустойчивостью, или, если угодно, вырожденностью классической механики, и связана ее переопределенность, заключающаяся в точности чистых состояний по отношению ко всем наблюдаемым. Переход к квантовой механике снимает это вырождение и приводит к устойчивой теории «общего положения», которую нельзя деформировать, оставаясь в рамках уже фиксированных структур.

Мы приходим к важному выводу: если классическая механика в процессе развития физики была закономерно заменена на квантовую, то для предсказания дальнейшего изменения квантовой механики у нас нет оснований.

Приложение математической теории деформации алгебраических структур для

анализа представлений в физике на этом не заканчивается. Рассмотрим с этой точки зрения переход от нерелятивистской к релятивистской динамике. Как уже отмечалось выше, этот переход был связан с изменением группы движений пространства-времени — от преобразования Галилея к преобразованию Лоренца — Пуанкаре.

Обе эти группы содержат 10 параметров. Мы сопоставим лишь преобразования координат $\vec{x}$ и времени t , соответствующие смене систем отсчета и содержащие в качестве параметров скорость относительного движения систем $\vec{v}$.

Преобразования Галилея:

$$\vec{x} \rightarrow \vec{x} + \vec{v}t, \quad t \rightarrow t.$$

Преобразования Лоренца:

$$\vec{x} \rightarrow \frac{\vec{x} + \vec{v}t}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

$$t \rightarrow \frac{t + (\vec{v}\vec{x})/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

В преобразованиях Лоренца, помимо переменного параметра $\vec{v}$, содержится фиксированный параметр c — скорость света. Как мы знаем, он имеет конкретное значение, $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с, однако математически мы можем представить себе семейство воображаемых миров, нумерованное значениями c . Очевидно, что при $c \rightarrow \infty$ преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея. В то же время оба семейства преобразований образуют одну и ту же алгебраическую структуру — группу. Итак, мы опять сталкиваемся с деформацией: группа релятивистской динамики есть деформация группы для нерелятивистского движения. Роль параметра деформации играет величина $1/c^2$. И опять переход к релятивизму является деформацией в устойчивую структуру: группа Лоренца не допускает неэквивалентных деформаций.

Прекратим на этом «математический поток сознания» и посмотрим, к чему приводит проведенный анализ. Две главные революции в физике и современном естествознании вообще с точки зрения математики являются деформациями неустойчивых структур в устойчивые. Модные разговоры о смене парадигм с этой точки зрения по меньшей мере тускнеют. Но суть дела от этого не проигрывает. Мне представляется, что более краткого и адекватного анализа эволюции наших взглядов на теорию материи не существует.

Естественно теперь спросить, позволяют ли этот анализ сказать что-либо о дальнейшем развитии таких взглядов. Сознвая

спекулятивность таких попыток⁶, не могу удержаться от соблазна дать вариант такого предсказания.

Мы уже видели, что параметры деформации $\hbar$ и $1/c^2$ имеют конкретную размерность. В терминах трех базовых размерностей — длины L , массы M и времени T — имеем

$$[\hbar] = [L]^2 [M] [T]^{-1}; \quad [1/c^2] = [L]^{-2} [T]^2.$$

Ясно, что существует еще лишь один независимый размерный параметр, и основываясь на уже существующем опыте (сколь безрассудно это ни бывает), следует искать еще одну деформацию физических закономерностей, в которой этот параметр принял бы участие. Не нужны особые усилия, чтобы осознать, что такая возможность уже, видимо, реализована. Действительно, третье основное достижение физики нашего века — создание Эйнштейном теории тяготения — также может считаться деформацией в устойчивом направлении. Именно, в основе теории тяготения лежит замена плоского пространства-времени Минковского на искривленное псевдориманово пространство общего положения. Ясно, что в множестве таких пространств плоское пространство является вырождением, в то время как в окрестности криволинейного пространства лежат также криволинейные. Мера деформации определяется входящей в уравнения Гильберта — Эйнштейна гравитационной постоянной γ , унаследованной еще от Ньютона. Эта константа имеет размерность, функционально независимую от $\hbar$ и c , и

вместе с ними составляет базис для всех размерных параметров.

Читателю уже ясно, куда я клоню. Объединение релятивизма, квантовых принципов и тяготения должно дать нам окончательную физическую теорию, которая устойчива и не поддается изменениям без действительно коренной ломки установившихся понятий, которые, как мы уже убедились, имеют очень общий характер. Я не вижу ничего крамольного в предсказании окончательной формулировки основ еще одной из естественных наук. Химия уже нашла свою фундаментальную основу в квантовой механике многоэлектронных систем, и нет ничего удивительного в том, что физику, возможно, ждет подобная участь.

К сожалению, в современной теоретической физике еще не найден естественный синтез принципов релятивизма, квантовой теории и тяготения. Мы можем строить достаточно последовательную квантовую теорию в пространстве Минковского ($\hbar$ и c) или классическую теорию тяготения (c и γ). Но последовательной теории, в которую органически входили бы все три параметра $\hbar$, c и γ , все еще не существует. Основные усилия физиков-теоретиков и специалистов по современной математической физике направлены на реализацию этого синтеза. Далеко не все участники этой работы сознают или соглашаются, что они трудятся над окончательной формулировкой структуры материи, которая будет дана лишь на математическом языке. Но для некоторых из них, в том числе и автора этой статьи, эта мысль является очевидной, неизбежной и, главное, путеводной.

⁶ См. сноску 3.

ОБЪЯВЛЕНИЕ

Всесоюзный научно-исследовательский институт минерального сырья (ВИМС) просит сообщить годовую потребность в редкоземельных элементах (оксидах, их смесях, металлах) на XIII—XIV пятилетки для определения проектной производительности нового предприятия по попутным компонентам.

Ресурсные возможности производства позволяют удовлетворить любую потребность.

Цены продуктов планируется устанавливать на договорной основе при их значительном снижении по сравнению с действующими.

Адрес: 109017, Москва, Старомонетный пер., 31, ВИМС.

Телефон для справок: 233—15—37.

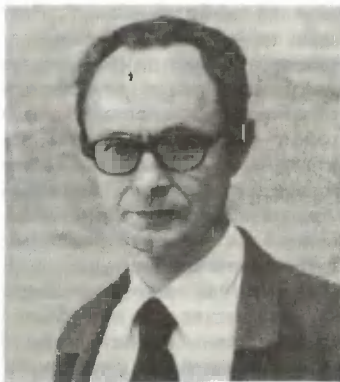
ЖИЗНЬ ВЫХОДИТ ИЗ ВОДЫ НА СУШУ

В науке есть проблемы, решить которые чисто умозрительно не под силу даже самому выдающемуся уму. Одна из таких проблем в естествознании связана с интереснейшим среди великих событий в истории Земли — выходом живых организмов на сушу. В самом деле, чтобы понять, как это происходило и когда именно, нужен громадный палеонтологический материал со всех концов планеты, нужны знания геологической обстановки, палеоландшафтов и климата. Именно всеохватностью проблемы объясняется широкий круг исследователей многих специальностей, созыв международных симпозиумов, на которых рассматриваются разные точки зрения на заселение суши, на эволюционные преобразования, позволившие организмам перейти от водного к наземному образу жизни. Многообразие жизни заставляет обсуждать проблему с разных сторон, на разных группах растений и животных.

До последнего времени исследование этой проблемы характеризовалось множеством противоречивых данных, недосказанностью и обилием гипотез. И вот на международном симпозиуме «Эволюция и среда в позднем силуре и раннем девоне» (Лондон, 1984) удалось обобщить многочисленные факты о первых сухопутных поселенцах и о тех условиях, которые обеспечили им завоевание суши.

В публикуемых ниже материалах три специалиста по названной проблеме представляют наиболее интересные ее аспекты, восстанавливая панораму событий давно минувших эпох. Они излагают и обобщают взгляды многих исследователей, высказывают и собственную точку зрения.

Пять лет, прошедшие после упомянутого симпозиума, внесли мало нового в старую проблему, которая по-прежнему остается актуальной. Вот почему мы с уверенностью печатаем подборку об освоении суши жизнью как последнее слово современной науки.



Сергей Викторович Мейен (1935—1987), доктор геолого-минералогических наук. С начала своей научной деятельности и до конца жизни работал в Геологическом институте АН СССР. Стратиграф и палеоботаник, с 1978 г. — вице-президент Международной организации палеоботаники. Ревностный популяризатор науки и постоянный автор «Природы», он задумал и организовал весь этот материал, но ему не суждено было увидеть его напечатанным.

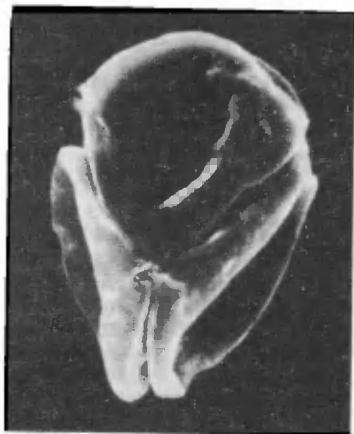
С. В. Мейен

Первые „сухопутные“ растения

В ИСТОРИИ Земли было немало вех, значение которых для правильного прочтения ее летописи ясно каждому исследователю и которые тем не менее так и остаются загадками. К ним относятся и завоевание суши растениями. От зарождения жизни на Земле до появления первых лесов прошли миллиарды лет. Растительность вполне современного облика покрывала континенты всю кайнозойскую эру, была густой в мезозое и в конце палеозоя. Известны многочисленные остатки наземных растений и в девонском периоде. А раньше? Что было на суше в силуре, ордовике, кембрии и в еще более древние — докембрийские времена?

Почему-то заселение суши растениями далеко не всеми исследователями признавалось проблемой. Некоторым казалось, что не

Тетрада спор из отложений ордовика — силура на территории США (увел. в 900 раз) По Дж. Грей.



над чем ломать голову — растения вышли из моря на сушу, сначала заселив мелководья, а потом двинулись вдоль рек в глубь континентов. Но накопленные палеоботанические данные заставляют признать, что все было не так просто. Обратимся к добытым сведениям, но прежде попробуем представить палеогеографическую обстановку на Земле 430—390 млн лет назад¹.

Имеется несколько разных сценариев о «путешествиях» континентальных блоков в те далекие времена. Общее во всех реконструкциях (основанных на палеомагнитных данных) — обширный континент Гондвана (объединявший нынешние материки Южного полушария), северный континент Ангарида и лежащие вблизи экватора плиты Северной Америки, Гренландии и Европы, которые в начале девона соединились друг с другом.

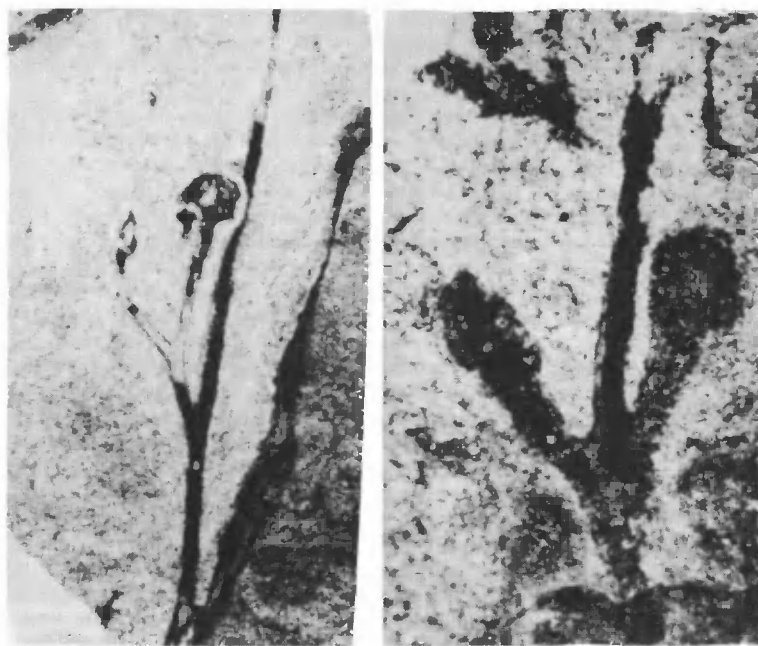
На рубеже силура — девона некогда огромный океан Япетус, расположенный на севере современной Атлантики, оказался вытесненным. К началу девона континентальные плиты по обеим его сторонам почти сошлись и образовалось палеозойское море, по размерам сопоставимое с Сарматским морем неогена. После закрытия Япетуса на его месте и на сближавшихся плитах Северной Америки и Европы образовался громадный континент Древнего Красного Песчаника (Лавразия) с характерными красноцветными породами, которые сейчас распространены как в Европе, так и в Сибири.

Появление остатков высших наземных растений в отложениях конца силура всегда было заманчиво связать с первым заселением суши и этими растениями, и растениями вообще. Надо было лишь допустить, что в более ранних эпохах жизнь на континентах отсутствовала или еле теплилась. Но многие палеоботаники склонялись к мысли, что на суше сначала могли поселиться не высшие растения, а различные водоросли, грибы, бактерии, а вместе они были способны образовать наземные экосистемы. И та, и другая точки зрения до последнего времени были преимущественно умозрительными. На далекое прошлое экстраполировались данные более молодых, в том числе современных, экосистем.

Эта стадия умозрительных реконструкций сейчас перешла в несравненно более привлекательную стадию исследования конкретных палеонтологических документов. Из них, видимо, наибольший результат дадут сведения о палеопочвах. До сих пор их изучали от случая к случаю и даже полученные результаты мало использовали при попытках объяснить заселение суши растениями. Сильным стимулом подобных работ я считаю исследования молодым американским палеоботаником Г. Реталляком палеопочв триаса и кайнозоя, особенно сравнительный анализ почвенных профилей разных эпох. Некоторые результаты сравнения — сложность и зрелость более молодых почв — можно было предвидеть. Но другие его результаты стали если не сенсацией, то немалым сюрпризом: в палеопочве позднего ордовика в штате Пенсильвания он обнаружил ходы каких-то животных, уходящие в глубь почвы с поверхности. Каким животным могли принадлежать эти ходы, пока неизвестно. Скорее всего, это были какие-то кольчатые черви (может быть, дождевые) или членистоногие. Но раз они жили на суше, им было чем питаться. Приходится допустить, что растительный покров, поддерживающий наземную фауну, существовал и до силура, т. е. в ордовике.

Что же это были за растения? Никаких крупных или даже микроскопических остатков растений в палеопочве не найдено, единственными следами могут считаться перекристаллизованные известковые трубчатые тельца. Реталляк считает, что они принадлежали каким-то несосудистым растениям — водорослям, поскольку в палеопочве нет их подземных частей. Выходит, ордовикская суша была заселена не высшими растениями, но тогда возникает вопрос о

¹ Обсуждаемые в дальнейшем гипотезы о палеогеографической обстановке, выходе растений и животных на сушу опубликованы в кн.: *Evolution and Environment in the Late Silurian and Early Devonian*. L., 1985. Из нее же заимствованы и приводимые в подборке рисунки.



Остатки вышших (!) растений из раннедевонских отложений Южного Уэльса. Слева — растение со спорангиями на боковых веточках (увел. в 3 раза), справа — спороносный побег, разделенный на три (увел. в 8 раз). По Д. Эдвардс и У. Фаннинг.

продуктивности водорослевой наземной флоры: могла ли она прокормить многоклеточных животных довольно внушительного размера? Мысль о происхождении вышших растений от наземных водорослей, а не от водных вышших растений, которые постепенно переселились на сушу, мне уже приходилось высказывать, позже эту версию поддержали Г. Стеббинс и Г. Хилл.

Сколь древней могла быть эта предполагаемая наземная несосудистая растительность? Скорее всего, ее «корни» уходят в конец архея — начало протерозоя: уже с раннего докембрия известны палеопочвы, а в одной из них (возрастом около 2,4 млрд лет) С. Кемпбелл обнаружил органическое вещество. В докембрии приливно-отливная зона была заселена микроорганизмами, часть которых похожа на современные формы, живущие в наземных водорослевых корках. В. Райт считает, что в раннем палеозое уже могли существовать лишайники. Аскомицеты, т. е. именно те грибы, которые в большинстве случаев образуют симбиотические сообщества с водорослями у современных лишайников, известны по крайней мере с силура. Маты из низших растений способны связывать осадок, защищать поверхность суши от эрозии, хотя, конечно, не в такой мере, как сообщества растений с хорошо развитыми корневыми системами.

Интересные свидетельства о возможном растительном населении суши дают ос-

татки спор, которые извлекают как из прибрежных отложений морей, так и из континентальных отложений. Дж. Грей выделяет три главных этапа развития древней наземной растительности. Первый начинается в середине ордовика, когда растения, продуцировавшие споры, впервые появились на суше. Эти древние споры сохранились в тетрадах (т. е. собраны по четыре), обтянутых общей оболочкой (Грей сравнивает эти остатки с тетрадами спор печеночников и мхов). Однообразие и обилие спор указывают на незначительное разнообразие материнских растений и в то же время на быструю колонизацию ими суши. На втором этапе — в середине или верхней части нижнесилурийских отложений — эти однообразные тетрады сменяются одиночными спорами, которые обликом напоминают споры вышших споровых растений. В начале третьего этапа (середина верхнего силура) преимущественно гладкостенные споры сменяются спорами с более разнообразным орнаментом оболочки. Эти три этапа прослеживаются на достаточно большой площади — в Англии, Африке, Северной и Южной Америке. По Грей, второй и третий этапы, ясно выраженные в комплексах спор, очень слабо отражены в известных из силура макроостатках растений.

И тем не менее американский палеоботаник Х. Бэнкс именно по макроостаткам выделил три зоны для верхов силура и

низов девона. Для первой зоны (два последних яруса, или века, силура) особенно характерен род *Cooksonia* — наиболее примитивное из известных сейчас высших растений. Его-то и помещают обычно в основание филогенетического древа всех высших растений. Во второй зоне (первый и половина второго яруса нижнего девона) типично растение *Zosterophyllum*, относящееся к группе, от которой, вероятно, произошли плауновидные. В третьей зоне (остальная часть нижнего девона) характерно растение *Psilophyton*, из группы тримерофитовых. Предполагается, что от этой группы произошли членистостебельные, папоротниковидные и семенные растения.

Как это часто бывает в палеонтологии, интенсивные поиски и тщательные исследования привели к находкам форм, которые раньше относили к более молодым отложениям. Но в целом никаких сенсационных данных не появилось. Растения древнейшей девонской флоры остаются весьма примитивными, и не ясно пока, какие из них можно безоговорочно отнести к высшим. Ведь в девоне найдены растения, в стеблях которых имеется проводящий пучок — типичный признак высших растений, сложенный, правда, не трахеидами, как у них, а вытянутыми клетками со своеобразным рельефом стенок; у куксоний и других примитивных растений из верхов силура — низов девона до сих пор не найдены устьица. Формы с такими неопределенными особенностями строения ос-

торожности ради называют риниофитоидами: в водоросли их включать нет оснований, а к высшим растениям относить рискованно.

Судя по литологическим данным, эти растения жили в теплом или даже жарком климате (среднегодовая температура 16—20 °C) с сезонными дождями (100—500 мм в год). Вероятно, риниофитоиды жили непосредственно у уреза воды, образуя одновидовые заросли по берегам крупных, часто разливавшихся рек, но может быть, населяли мелководные временные бассейны — «пруды».

В более молодых отложениях нижнего девона (зигенского и эмского ярусов) встречается уже флора с довольно многочисленными родами и видами, та раннедевонская флора, о которой чаще всего пишут в учебниках, когда освещают историю древнейшего растительного мира. Места нахождения этих растений, иногда прекрасно сохранившихся, известны на всех континентах и хорошо изучены. Ясно, что это растения того времени, когда жизнь уже хорошо освоилась на континентах.

Сложилась ли у специалистов общая точка зрения на заселение суши растениями? Пока этого нет. Но гипотеза о том, что первым ее освоили низшие растения, в частности водоросли, приобретает все больше сторонников.

Публикация М. А. Мейен.

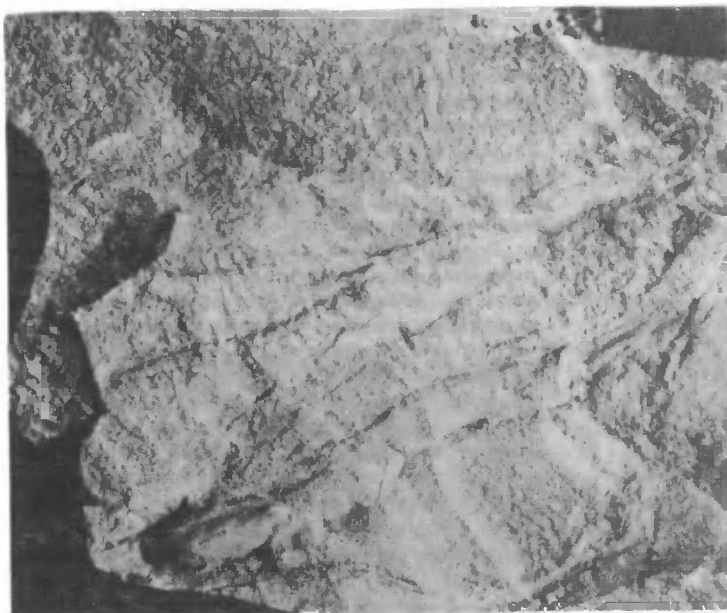


Александр Георгиевич Пономаренко, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Палеонтологического института АН СССР. Занимается изучением ископаемых насекомых, главным образом жуков, воссозданием строения и функционирования древних наземных экосистем.

А.Г. Пономаренко

Наземные беспозвоночные

О СТАТКИ древнейших наземных беспозвоночных встречаются намного реже, чем остатки наземных растений, поэтому история ранних животных фрагментарна. Если добавить к этому, что при освоении суши у животных было значительно больше путей, станет ясно, насколько труднее реконструировать колонизацию ими суши. Неудивительно, что существует несколько взглядов на это событие: животные могли переселиться сначала в пресные воды и только затем на сушу; могли перейти через полости между галькой на



Почти горизонтальные ходы животного, обнаруженные в позднеордовикской палеопочве штата Пенсильвания в США (уменьш. в 1,5 раза). По Г. Реталляку.

пляжах, а потом через рыхлые продукты выветривания — береговые выбросы; могли и непосредственно выйти из моря на сушу. Наконец, нельзя игнорировать и возможность того, что жизнь вообще возникла и всегда существовала на суше.

До недавнего времени не было фактически никаких палеонтологических свидетельств, которые позволили бы сделать выбор между этими гипотезами или принять несколько из них. Когда в конце 40-х годов М. С. Гиляров предложил свою гипотезу перехода животных на сушу преимущественно через почву, он использовал почти исключительно сведения об адаптациях современных организмов. Даже крупнейший палеонтолог Я. Штурмер, обсуждая выход членистоногих на сушу, вынужден был обращаться к данным не столько о древних животных, сколько о ныне существующих. К сожалению, и в настоящее время накопленных палеонтологических данных недостаточно. Но парадоксально, что нередко обилие материалов даже осложняет ситуацию, поскольку из-за трудностей, которые возникают при установлении систематической принадлежности древних животных, нельзя понять, обитали они на суше или в воде. Так было с эвтикарциноидами, которых приняли сначала за ракообразных, а потом оказалось, что это родственники многоножек и насекомых. Но и это не решило проблемы. По-прежнему неясно, населяли они сушу или пресные воды. Для точного ответа нужны остатки гораздо лучшей сохранности, чем

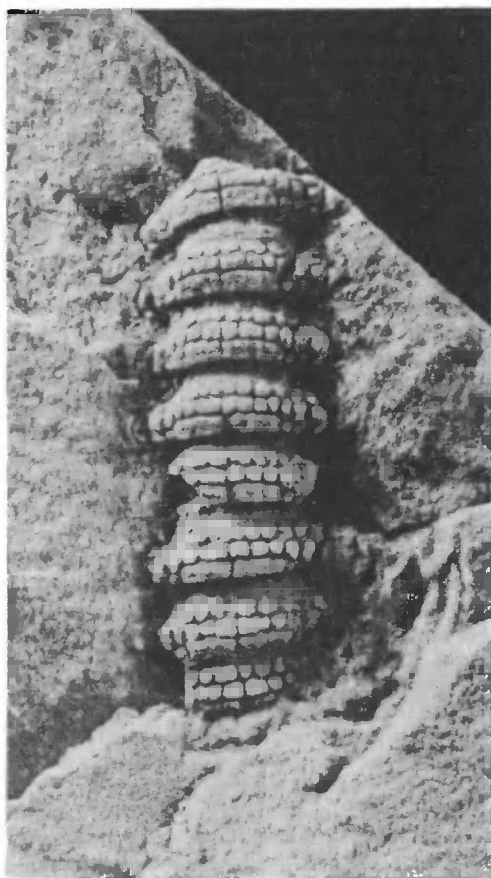
имеются на сегодня, и данные по экологии животных.

Какими же конкретными свидетельствами располагает палеонтология о заселении суши беспозвоночными? Самое древнее из имеющихся — ходы неизвестных животных, обнаруженные Реталляком в верхнем ордовике, т. е. задолго до появления на суше высших растений. Это и может служить свидетельством, что почвенные животные существовали гораздо раньше первых пресноводных, которых обнаруживают в раннем девоне. Такой вывод подтверждают и фекальные пеллеты — окаменевшие экскременты членистоногих, найденные в отложениях верхнего силура Швеции. Примечательно, что в пеллетах содержатся гифы грибов.

Первые скелетные остатки, несомненно принадлежащие наземному существу (двупарноногий многоножка), известны только из конца силура, но это малая капля из того, что требуется для решения проблемы выхода животных на сушу. В девоне, изобилующем остатками растений, геологическая летопись наземных беспозвоночных продолжает оставаться фрагментарной.

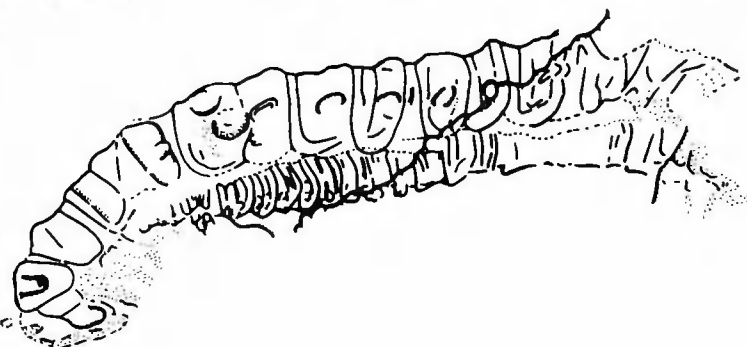
Тем не менее из отложений этого времени известны три значительные фауны: фауна Райни (около 400 млн лет) из Шотландии; разнообразная фауна Алькена (390 млн лет) из ФРГ и недавно открытая фауна Джилбоа (380 млн лет) из США. Все они приходятся на континент Древнего Красного Песчанника. В первую и последнюю входят только наземные животные, а во вторую — преимуще-

щественно обитатели лагун. У. Рольф, изложивший историю ранних наземных членистоногих, считает, что они могли обитать не в зарослях высших растений, а в водорослевых корках. Разлагающееся в них органическое вещество могло быть основой существования древнейших консументов (потребителей), среди которых, начиная с пржидолго-ского яруса силура, доминировали двупарноногие многоножки и близкие им формы.



Окаменевшие остатки многоножки кампекариды из отложений раннего девона Шотландии (увел. в 4,5 раза). По-видимому, кампекариды были самыми распространенными из древнейших наземных членистоногих. По Дж. Олмонду.

Реконструкция окаменевшей многоножки, найденной в отложениях позднего силура Шотландии (увел. в 10 раз). Вероятно, это древнейшее из известных членистоногое животное. По Дж. Олмонду.



Они же или их недалекие родственники (возможно, пресноводные) процветали и позже — в нижнем девоне (Казахстан) и в верхнем (Канада), о чем свидетельствуют массовые захоронения.

Окаменелости пресноводных животных в девоне встречаются намного чаще, чем в конце силура, начинают появляться и окаменевшие следовые дорожки различных членистоногих, явно образовавшиеся тоже на дне пресноводных водоемов. Из моря в пресные воды и на сушу в это время переходят скорпионы, группа, история которой — одна из самых изученных. Еще в одной обширной группе хелицеровых — эвриптеридах — в девоне начинают доминировать лагунные и пресноводные формы. Однако сейчас невозможно понять, имели ли они органы воздушного дыхания и, следовательно, являлись вторичноводными, как насекомые, или у них были нормальные жабры, характерные для первичноводных животных. В девоне (но не раньше) были распространены, по сведениям Н. Морриса, и неморские моллюски.

Таким образом, даже немногие накопленные палеонтологические данные уже позволяют сделать некоторые выводы о заселении суши беспозвоночными. Почвенная фауна появилась явно раньше пресноводной: в девоне, когда уже существовала и та, и другая, почвенные животные более разнообразны. В силуре беспозвоночные потребляли на суше, по-видимому, только разлагающуюся растительную массу (все большее число специалистов склоняется к мысли, что это были водоросли, а не высшие растения), а в раннем девоне могли питаться тканями сосудистых растений — в них найдены патологические изменения в ответ на повреждения животными.

Отмечу еще раз — палеонтологических данных, характеризующих освоение суши беспозвоночными, недостаточно. К сожалению, все работы по изучению древнейших наземных беспозвоночных проводятся в Западной Европе и Северной Америке, т. е.

на территориях уже неплохо изученных, где вряд ли можно обнаружить новый богатый материал. На других же территориях, в частности в азиатской части СССР, которая представляла собой особые материки Казахстана и Ангарида, подобные работы вообще никогда не проводились. Между тем в нижнем девоне Казахстана обнаружено несколько месторождений, буквально нафаршированных остатками каких-то пресноводных или

наземных членистоногих. Но они до сих пор не изучены, специалистов по древнейшим членистоногим у нас нет. Мало того, нет даже надежды на появление таких специалистов — палеонтологические исследования в стране сокращаются. Без специалистов не растут и коллекции, столь необходимые для расшифровки распространения жизни на Земле.



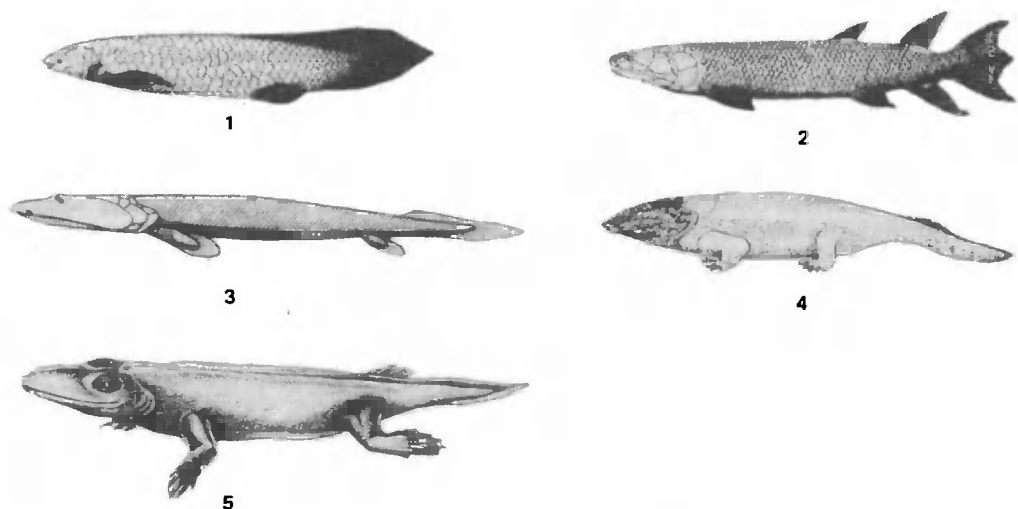
Эмилия Ивановна Воробьева, доктор биологических наук, заведующая лабораторией эволюционной морфологии Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР. Круг научных интересов связан с ихтиологией, герпетологией, эволюционной морфологией, проблемой происхождения наземных позвоночных, эволюционной теорией. Монография: Морфология и особенности эволюции кистеперых. М., 1977. Соправтор ряда других монографий, а также методических и учебных пособий.

Э. И. Воробьева

От рыб к четвероногим

БОЛЬШИНСТВО исследователей единодушны в том, что ранняя эволюция позвоночных долгое время протекала в море. Однако из-за худших по сравнению с континентальными водоемами условий захоронения остатков сведения о древнейших видах этих животных весьма скудны. Происхождение морских позвоночных обычно связывают с хордовыми, в частности с оболочниками, остатки которых изредка находят в кембрийских отложениях. Наиболее близким к родоначальникам позвоночных нередко признается бесчерепное животное *Pika* из среднего кембрия Британской Колумбии. Недавно британским палеонтологом Р. Джеффри в качестве предков позвоночных выделена своеобразная группа кальциохордат (из отложений среднего кембрия — девона) — организмов, анатомически похожих и на морских звезд, и на хордовых. Эта сенсация заставляет еще раз задуматься над путями происхождения морских позвоночных и их филогенетическом единстве.

В солоноватых водах силурийского моря первые позвоночные — рыбообразные бесчелюстные — были представлены далеко разошедшимися ветвями: анаспидами, телодонтами, цефаласпидами, гетеростраками. Их голова и частично тело было нередко покрыто крупными скелетными щитками, которые защищали животных от хищников вроде гигантских ракоскорпионов. К концу девона большинство бесчелюстных вымерли, оставив совершенно непохожих на них потомков — современных миногу и миксину. Но еще в период своего расцвета (в силуре)



Современная двоякодышащая рыба [1]; кистеперая рыба из позднелавонских отложений Канады [2]; пандерихт — рыбообразное существо из девона Латвии, лишенное спинных плавников [3]; примитивная амфибия — икхтиостега — из отложений девона и карбона Гренландии [4]; тилерпетон — полуводное четвероногое животное из девонских отложений Тульской области [5]. 1—4 — по А. Брью, 5 — по О. А. Лебедеву [Природа. 1983. № 11. С. 30]. Эволюционный ряд, приведший к наземным позвоночным, начался, скорее всего, с кистеперой рыбы.

бесчелюстные дали начало челюстноротым позвоночным, прежде всего рыбам. В девоне рыбы достигли наибольшего разнообразия: именно тогда сформировались фактически все известные ныне и вымершие группы. На смену бесчелюстным пришли экологически сходные с ними панцирные рыбы. В девоне же первичные позвоночные интенсивно переселялись в реки и внутренние водоемы образовавшихся материков. Начало переселения связывается обычно с замыканием Лавтуса, образованием палеозойского моря и формированием Лавразии.

Но когда, как и по каким причинам происходило заселение континентов позвоночными? Многие здесь остаются неясными. Для ответов необходимы комплексная оценка событий далекого прошлого и ее сопоставление с современной обстановкой, анализ сведений по палеогеографии, экологии, физиологии, морфологии и филогенетике ископаемых и ныне живущих позвоночных на разных континентах. Пока же предполагается, что предпосылками и стимулами к переселению в континентальные водоемы могли быть сезонные колебания климата, изменение стратегии репродуктивного поведения и мест нереста; поиски свободных экологических ниш и бегство от хищников. При этом переход к жизни на континентах мог быть облегчен некоторыми физиологическими особенностями, например звигалинностью древних позвоночных, т. е. их способ-

ностью жить как в соленой, так и в пресной воде.

В последнее время активно обсуждается идея возможной асинхронности заселения морскими позвоночными разных континентов. Так, предполагается, что в пресные воды Ангарида бесчелюстные попали значительно позже (в конце силура), чем в Лавразию. Эндемизм силурийской ихтиофауны Южного Китая британский палеонтолог Л. Халстид объясняет, в частности, независимым ее проникновением на континентальный блок, объединявший современные Китай и Маньчжурию, хотя имеются данные о связях Китая с Ангаридой уже в силуре.

Особый интерес представляет выход позвоночных на сушу, приведший к появлению земноводных, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих. Хотя происхождение наземных позвоночных (тетрапод) обсуждается многие десятилетия, до сих пор нет единства ни во взглядах на время и условия выхода на сушу, ни в мнениях о конкретных рыбоподобных предках тетрапод: были ли ими кистеперые или двоякодышащие (дипнои) рыбы? Точка зрения о близости тетрапод к двоякодышащим, преобладавшая в XVIII в., позже была опровергнута многими зоологами и палеонтологами. Однако в 80-х годах идея о родстве земноводных с дипноями вновь возродилась в «ню-йоркской школе», объединившей американских и британских ихтиологов и палеоихтиологов. С этого вре-

мени дискуссия о происхождении тетрапод приобрела особую остроту. Разные гипотезы основываются не только на сравнительно-анатомических данных (как это было принято раньше), но и на физиологических особенностях рыб и тетрапод, предпринимаются попытки реконструировать экологическую обстановку выхода на сушу.

Из множества взглядов приведу лишь некоторые. В 50-х годах было весьма распространено предположение, выдвинутое британским палеонтологом А. Ромером, что тетраподы появились в результате переползания кистеперых рыб из водоема в водоем в условиях засушливого климата девона. Однако, когда было установлено, что красноцветные породы Лавразии могли образоваться во влажных субтропиках, появление тетрапод стали связывать с полуводными условиями — наиболее благоприятными для возникновения земноводных. И. И. Шмальгаузен считал, что кистеперые рыбы, обитавшие в прогреваемых водоемах, покинули их из-за недостатка кислорода. Еще в воде у них появилось сначала легочное, а затем кожное дыхание и образовались конечности, пригодные для передвижения по дну.

Несколько позже, когда накопился большой палеонтологический материал, автор этих строк, взяв за основу морфологические данные, пришел к выводу, что признаки тетраподности формировались самостоятельно в разных группах кистеперых рыб. Наиболее четко они проявились у так называемых стегоцефалоподобных (похожих на древних «панцирголовых» земноводных) кистеперых, по-видимому, экологически адаптированных к существованию и в воде, и на суше. Подобные рыбы появлялись в палеозое неоднократно — и до, и после возникновения первых тетрапод. Это была своего рода генеральная репетиция выхода на сушу кистеперых рыб, которые пытались освоить мелководные прибрежные экологические ниши.

В недавнее время британский естествоиспытатель А. Брей попытался объяснить происхождение тетрапод с физиологических позиций. Он исходил из предположки, что условия девона значительно отличались от современных: атмосфера содержала меньше кислорода и больше углекислого газа, а континентальные воды были солонее из-за интенсивной деятельности вулканов и отсутствия хорошо развитого растительного покрова. При сильном опреснении водоемов в период дождей морские рыбы подвергались неблагоприятным осмотическим нагрузкам и покидали места обитания. Рыбы, живущие в соленых континентальных водах, физиоло-

гически были более приспособлены к сухопутному существованию, чем обитатели пресных вод, — им грозило обезвоживание. По Брей, у всех древних челюстноротых имелись механизмы (хотя и примитивные), позволяющие существовать в непостоянных условиях среды, — легочное и кожное дыхание, способность выделять мочевую кислоту вместо аммиака (для вывода лишнего азота), обеспечивавшую более экономный расход воды.

Брей предполагает также, что предками тетрапод были, скорее всего, кистеперые рыбы. Дипной остались в стороне от магистрального пути эволюции, связанного с освоением суши. Их эволюция привела лишь к выработке защитных адаптаций против засухи — впадению в оцепенение (спячку) при зарывании в грунт. Судя по находкам «нор», такой способ защиты появился у них в девоне и оказался очень устойчивым — он сохранился до наших дней у протоптеруса и лепидосирена.

Не исключено, однако, что физиологические адаптации к сухопутной жизни сложились среди кистеперых рыб, обитавших в опресненных морских лагунах. Этот взгляд подтверждается находками стегоцефалоподобных кистеперых, в частности пандерихтиид в девонских отложениях Прибалтики и Канады. Пандерихтииды, которых мы выделили в новый отряд, могут рассматриваться как сестринская группа тетрапод, берущая начало от общего с ними предка. На примере наиболее полно сохранившегося пандерихта, найденного нами в местонахождении Лоде (Латвия), видно его морфологическое сходство с древнейшей амфибией ихтиостегой из позднедевонских отложений Гренландии. Сходные черты обнаружили в строении черепа, плечевого пояса и плечевой кости, в гистологической структуре зубов, в положении внутренних ноздрей-хоан.

Очевидно, пандерихт и ихтиостега отражают последовательные ступени утраты рыбьих черт и приобретения признаков наземных позвоночных. Их тело еще покрыто рыбьей чешуей, они имеют хвостовой плавник, но форма их черепа сходна с крокодилом, а не с рыбой; вероятно, у них сохранились жабры, но появились и легкие. Вместе с тем у ихтиостеги сформировалась пятипалая конечность, тогда как у пандерихта имеются рыбы парные плавники (хотя в отличие от других рыб отсутствуют спинной и анальный). Особого внимания заслуживает грудной плавник пандерихта — в нем нет аналогов пальцев, т. е. концы его не расчленены. Такое строение заставляет пересмотреть распространенный ранее взгляд на воз-

возможность формирования тетраподной лапы (кисти, стопы) еще у рыб.

Сейчас палеонтологические материалы позволяют оценить время, когда сформировались тетраподные конечности: следы пятипалой лапы обнаружены уже в среднем девоне, позднедевонская ихтиостега обладала пятью пальцами, а тулерпетон (из позднего девона Тульской области) — шестью. Если к тому же учесть, что тулерпетон и ихтиостега представляли собой разные линии тетрапод, то следует, видимо, значительно отодвинуть время появления первых наземных позвоночных и отнести его по крайней мере к началу среднего девона. Кроме того, следует допустить, что наряду с настоящими сухопутными тетраподами в истории Земли длительное время существовал целый спектр экологически сходных полуводных животных, сочетающих в себе черты рыб и тетрапод.

Итак, при анализе событий на границе силура и девона возникает ряд вопросов. Какие изменения во внешней среде и какие эволюционные события произошли в это время? Не появились ли первые наземные растения и животные раньше там, где постепенно замыкался океан Япетус и образовывался континент Древнего Красного Песчанника? Проявились ли в силуре и девоне какие-нибудь особые факторы среды, стимулировавшие колонизацию суши?

Из приведенных материалов ясно, что никаких особых перестроек в неорганическом мире и в абиотической среде, которые можно было бы связать с колонизацией континентов, до сих пор не обнаружено. События этого времени не нуждаются в объяснении экзотическими внешними причинами (по-

вышенной концентрацией радиоактивных элементов в среде, изменением газового состава атмосферы, эпизодическим дрейфом континентальных плит и т. п.). Сам процесс колонизации был скорее разрешен, чем стимулирован изменениями палеогеографической обстановки, и протекал относительно спокойно. Не наблюдается ни резких вымираний фауны, ни, наоборот, необычайно быстрой эволюции и интенсивного появления новых форм жизни. Изменение облика континентов также заметно не отразилось на морских экосистемах.

И как уже было с другими переломными рубежами в истории жизни, детальные региональные исследования на разных континентах заставляют искать более прозаические причины и эффективные факторы, регулирующие развитие органического мира на Земле. Палеонтологические летописные документы кажутся идеальными для изучения взаимодействия внешних и внутренних факторов, движущих эволюцией.

К сожалению, до сих пор подавляющее большинство материалов о древнейших наземных организмах дают Европа, Северная Америка и Северная Африка. Однако если верны существующие палеогеографические представления, то древний материк Ангарида, включавший территорию современной Сибири, лежал несколько в стороне и поэтому представляет особый интерес для понимания как общих принципов заселения суши, так и того, как шло ее освоение в более высоких широтах. Пока на сибирском материале изучались лишь отдельные группы (например, бесчелюстные), а комплексные исследования древних флор и фауны не проводились. Настала пора заполнить этот пробел.

А. Л. Суханов
А. А. Пронин

Спрединг на Венере

Изучая Марс, Венеру, Луну и другие планеты, исследователивольно или невольно сопоставляют их с Землей. В частности, авторы этой статьи пришли к выводу, что грядовые пояса Венеры представляют собой аналоги земных зон спрединга — одного из основных элементов тектоники плит. Однако некоторые считают, что эти пояса возникли в результате сжатия, а не растяжения и, соответственно, не могут быть сопоставлены с зонами спрединга на Земле. И вообще, прямое сравнение структур Земли и Венеры может скрывать неожиданные подвохи, так как состав и реология венерианской коры на разной глубине остаются пока неизвестными. Таким образом, отраженная в данной статье точка зрения, хотя и разделяется многими планетологами, представляется дискуссионной.



Алексей Львович Суханов, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории тектоники докембрия и сравнительной планетологии Геологического института АН СССР. Занимается изучением форм рельефа планет земной группы и сравнением их со структурами Земли.



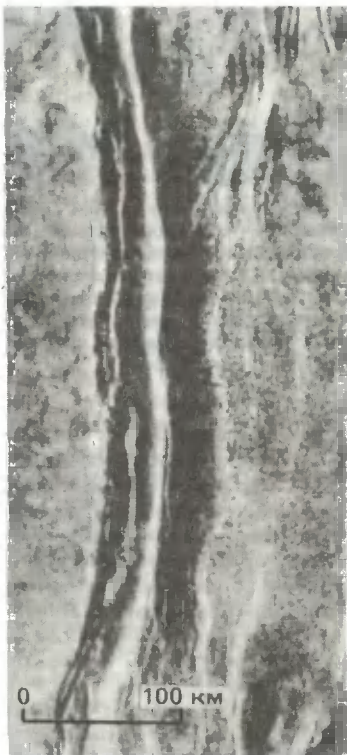
Алексей Александрович Пронин, научный сотрудник лаборатории сравнительной планетологии и метеоритики Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР. Специалист в области фотогеологического анализа планет земной группы.

В СЕРЕДИНЕ 60-х годов, когда телескопические исследования планет стали быстро вытесняться наблюдениями с космических аппаратов, для Земли уже была разработана концепция тектоники плит. Поэтому естественно, что при поступлении каждой новой серии фотографий, все с большей детальностью изображавших поверхность других планет, исследователи пытались и там обнаружить какие-то признаки тектоники плит.

До недавнего времени эти попытки особого успеха не имели. Несколько узких грабенов на Луне, каньоны на Марсе, системы борозд на Ганиমেде (спутник Юпитера) и Миранде (спутник Урана) говорят лишь о сравнительно небольших горизонтальных растяжениях. Взбросовые уступы на Меркурии обусловлены, видимо, общим сжатием поверхности этой планеты, но также небольшим. Для Марса имеются и другие доказательства малой подвижности литосферы этой планеты относительно горячих точек под ней: вулканы Марса растут сотни миллионов лет на одном и том же месте, о чем свидетельствуют прежде всего их огромные размеры.

Основные надежды связывались с Венерой. Еще в середине 70-х годов на радиотелескопе в Аресибо (Пуэрто-Рико) были получены первые изображения нескольких приэкваториальных участков этой планеты: на них различались структуры, похожие на горные хребты, грабены и даже сдвиги. Радарное картирование с американского космического аппарата «Пионер-Венера» (различались детали размером около 100 км) выявило «материковые» блоки, возвышающиеся над «океаническими» равнинами, крупные щитовые вулканы, протяженные разрывы и грабены. Как показали измерения советских станций серии «Венера», равнины имеют базальтовый состав, но следов тектоники плит

Один из наиболее эффективных грядовых поясов, протянувшийся по дну широкой пологой долины. Он похож на линейный диаметр с вершинными структурами проседания и сопровождается субпараллельными пучками гребней. Вероятно, этот пояс возник над интрузией, заполнившей гигантскую трещину. Все приведенные изображения сделаны станциями «Венера-15» и «Венера-16», «освещенные» справа.



там не было обнаружено. Земля с ее океаническими хребтами, желобами островных дуг и трансформными разломами стала представляться каким-то космическим уникалом. Правда, еще в 1981 г. американские исследователи Дж. Хэд и С. Ютер остроумно заметили, что если с той же детальностью сфотографировать Землю, удалив воду из океанов и «исправив» их рельеф за счет разгрузки дна, то и здесь вряд ли удалось бы разглядеть структуры, характерные для тектоники плит.

Наконец, пять лет назад появились радарные фотоизображения, сделанные с орбитальных станций «Венера-15» и «Венера-16» (с разрешением 1—2 км, т. е. почти в 100 раз выше, чем у станции «Пионер-Венера»)¹.

На этих фотографиях «материки» распались на сложно построенные блоки с поверхностью, напоминающей черепицу, — тессеры. Был также выявлен новый тип кольцевых структур — венцы, или «овоиды», — поперечником до 600 км, зоны линейных деформаций, мелкие вулканы и кольцевые

образования и даже отдельные лавовые потоки. Однако структур, свойственных тектонике плит, по-прежнему обнаружить не удалось.

Естественно, это вызывало недоумение. Например, непонятно было, почему на планете, близкой к Земле и по массе, и, предположительно, по составу, нет такого эффективного механизма выноса тепла из недр, как тектоника плит. Вообще было непонятно, почему поверхность Венеры так отличается от земной.

Частично этот вопрос прояснился после изучения ударных кратеров Венеры. Известно, что количество кратеров на единицу площади позволяет оценить средний возраст поверхности. А используя разную степень сохранности разновозрастных кратеров и их ореолов, можно оценить скорость разрушения поверхности. На Венере она не превышает нескольких миллиметров или сантиметров за миллион лет. Это значит, что мы видим непосредственно вулканический или тектонический рельеф, не уничтоженный эрозией, не перекрытый осадками, тогда как на Земле разрушаются, сносятся и переотлагаются многокилометровые толщи пород.

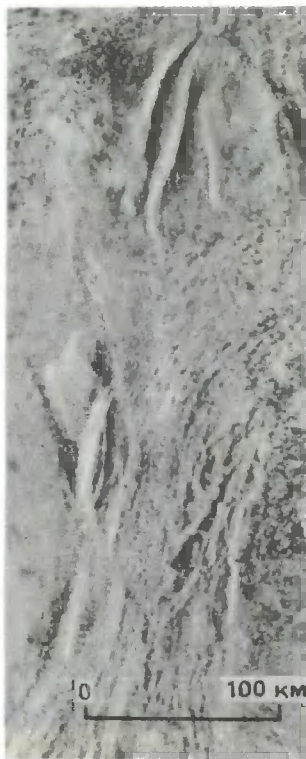
Однако и на Земле скорость эрозии и осадконакопления резко замедлена на относительно молодом глубоководном океаническом ложе. Как и на равнинах Венеры, единственным нивелирующим фактором здесь представляются лавовые излияния. Это сходство позволяет сравнивать дно земных океанов и равнины Венеры.

СТРОЕНИЕ РАВНИН

Эти обширные низменности находятся на высоте ± 1 км относительно «нулевого» уровня этой планеты (за него принята сфера радиусом 6051 км). Часто на равнинах встречаются скопления, состоящие из десятков и сотен мелких вулканических куполов размером до нескольких километров или отдельные небольшие вулканы с протянувшимися от них потоками лавы.

Но равнины Венеры отличаются от дна земных океанов одной удивительной особенностью — поясами гряд. Они образованы сближенными грядами и бороздами, чередующимися полосами удлиненных куполов и депрессий шириной до 20 и длиной до 200 км. Отдельный узкий пояс может состоять всего из нескольких гребней и борозд и даже из единичного вала. Но иногда при слиянии нескольких «ветвей» пояса расширяются в системы шириной 200—400 км, а их длина возрастает до 2000 км (самая крупная система

¹ Подробнее см.: Барсуков В. Л., Базилевский А. Т. Геология Венеры // Природа. 1986. № 6. С. 24—35.



Структуры растяжения в грядовых поясах. Слева: центральная часть изогнутой веретенообразной впадины (края показаны стрелками) находится примерно на 1,5 км ниже края пояса. Справа: прерывистая расщелина идет по западному краю пояса, причем в ее северной части воздымается новый гребень.

протянулась на 8000 км). Между собой пояса разделены извилистыми лентами, или линзами, бесструктурных равнин шириной до сотен километров.

По морфологическим признакам эти пояса так и напрашиваются на роль аналогов земных складчатых систем: в них отчетливо просматриваются синклинальные и антиклинальные складки, поперечные и косые разрывы и даже что-то вроде срединных массивов. Впечатление усиливается еще и тем, что в большинстве случаев пояса, хотя и ненамного, но приподняты над прилегающими равнинами. Однако эти вполне логичные посылки и основанные на них естественные, на первый взгляд, выводы оказались ошибочными.

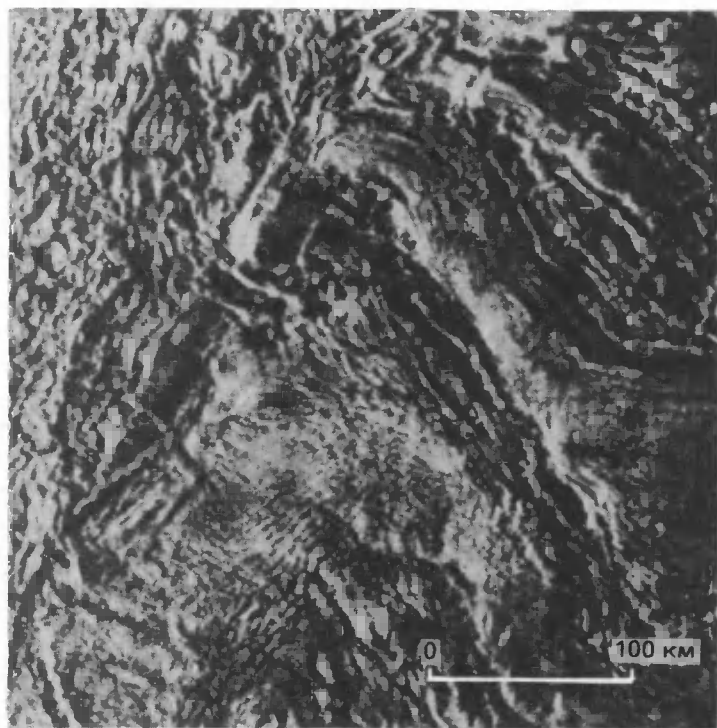
ТРУДНОСТИ ДЕШИФРОВКИ

Дело в том, что мы не знаем, как должны выглядеть незродированные складчатые системы. Ведь на Земле любые складки, едва поднявшись над земной поверхностью, начинают «срезаться» денудацией, и то, что мы видим сейчас, — это фактически внутренний рисунок слоев, их слагающих. Можем ли мы, например, по срезу гриба

сморчка судить о его поверхности? А на Венере, по всем признакам, эрозия и переотложение вещества отсутствуют в заметных геологических масштабах (при достигнутом разрешении, конечно). Следовательно, прямые аналогии между структурами на поверхности этой планеты и земными вряд ли оправданны.

Но по сути этот вопрос еще сложнее. Дело в том, что мы видим не глазом, а сознанием, тренированным в определенных условиях и ориентированным на определенные интерпретации. Поэтому и в изменившихся условиях мы силимся увидеть нечто привычное, а не то, что на самом деле изображено на космических снимках. Например, глаз способен привести несуществующие структурные элементы в бесструктурное изображение или исказить существующую структуру.

Аналогичная ситуация возникает, когда исследователь впервые видит мелкие кратеры Луны, снятые с большим увеличением, и не может отделаться от впечатления, что это — округлые выпуклости. Чтобы избавиться от этого «обратного эффекта», часто вызываемого непривычным освещением, нужна некоторая тренировка. Или же группа



Лавовая долина, в центре которой расположен молодой пояс, а по краям — «материковые» блоки. В целом картина напоминает сочленение Африканской, Афарской и Аравийской плит Земли и образовавшийся на этом месте молодой рифт.

объектов, отбрасывающих очень длинные узкие тени, может производить впечатление пирамид или пиков, хотя это всего лишь камни, необычно низко освещенные. Низкое боковое освещение склона, лишенного каких-либо структур, может неожиданно выявить на нем систему перекрестных линий. Не случайно многие долго верили, что подобная система существует на Луне и обусловлена ее тектоникой.

Радарные изображения бокового обзора, которые мы приводим в этой статье, также имеют свою специфику. Так, мы легко улавливаем мелкие резкие перепады рельефа, но не можем разглядеть крупные пологие уклоны, выделяемые по дополнительным данным второго радара — высотометра. В то же время его поле зрения слишком широко (50 км), чтобы зафиксировать отдельные гряды по 10—20 км шириной. Все это весьма существенно для дальнейшего изложения.

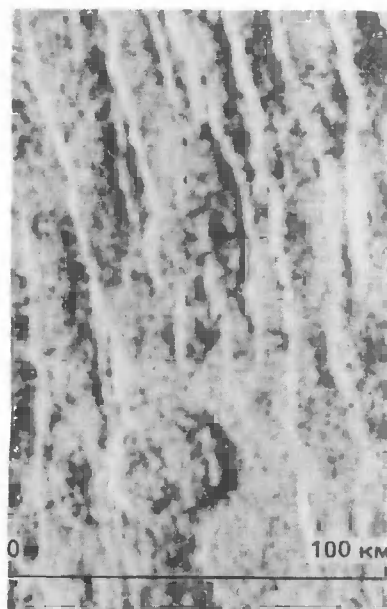
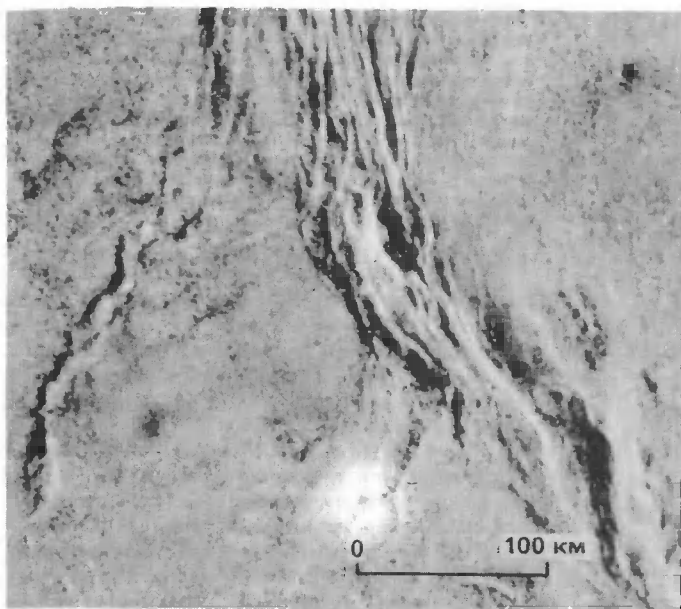
Поначалу, глядя на изображения, полученные аппаратами «Венера-15 и -16», мы долго не понимали, что же именно мы видим, — так сильна была инерция изучения Луны, Земли и других планет. А когда, наконец, присмотрелись, то стали различать странные детали и структуры.

РЕЛЬЕФ И РИСУНОК ГРЯДОВЫХ ПОЯСОВ

Самые простые пояса — это одиночные гряды и валы шириной до 40 км, неожиданно возникающие посреди гладкой равнины. При этом они срезают более ранние структуры (как и положено магматическим телам, но не складкам!), а на их вершинах возникают расщелины и грабены, словно они созданы какими-то выпирающими снизу массами, над которыми растрескивалась оболочка.

В более сложных поясах также обнаруживаются крупные продольные депрессии, будто литосфера здесь растянута так, что просела на большом протяжении. Иногда, впрочем, одна или несколько расщелин смещены к краю пояса, в других случаях линзовидные депрессии сменяют одна другую по оси широкого пояса наподобие кулис.

Наконец, часть поясов, с расщелинами в центре или без них, сами оказываются лежащими на днищах широких протяженных долин — пологих на лавовых равнинах или же с крутыми стенами в тех случаях, когда их борта образованы «материковыми» блоками. Право же, трудно представить себе, чтобы путем сжатия образовался прогиб,



Расщепление поясов на отдельные гряды. Слева: от основного пояса с двумя кальдерами отходит одиночная гряда. Справа: крупный пояс заканчивается серией изолированных гряд, одна из которых пересекает древний кратер.

в центре которого вырастает продольная гряда, да еще рассеченная вершинным грабеном. Более естественно предположить, что такие формы образуются при растяжении литосферы, когда ее толщина уменьшается, и в этих зонах образуются долины, а в их центральных частях прорываются магматические диапиры.

Теперь о рисунке поясов в плане. По Земле мы знаем, что иногда складчатые системы как бы расплываются: их складки меняют направление, расширяются и, сохраняя общий рисунок «конского хвоста», постепенно исчезают. Но в поясах Венеры гряды могут вести себя вполне автономно. Они отделяются от основного пояса под углом до 60° или образуют субпараллельные рои, где каждая гряда отстоит от другой на 10—20 км. Гряды рассечены продольными расщелинами, ветвятся и даже пересекаются и соединяются так, что получаются многоугольники (полигональные сети) со стороной 10—20 км, а это никак уже нельзя объяснить складчатыми деформациями, возникающими при сжатии. Да и сами пояса местами образуют сети многоугольников с размером сторон до 200 км. Кроме того, от мощных гребней некоторых гряд отходят потоки лав.

Если это и похоже на какие-то земные структуры, то больше всего — на рои маг-

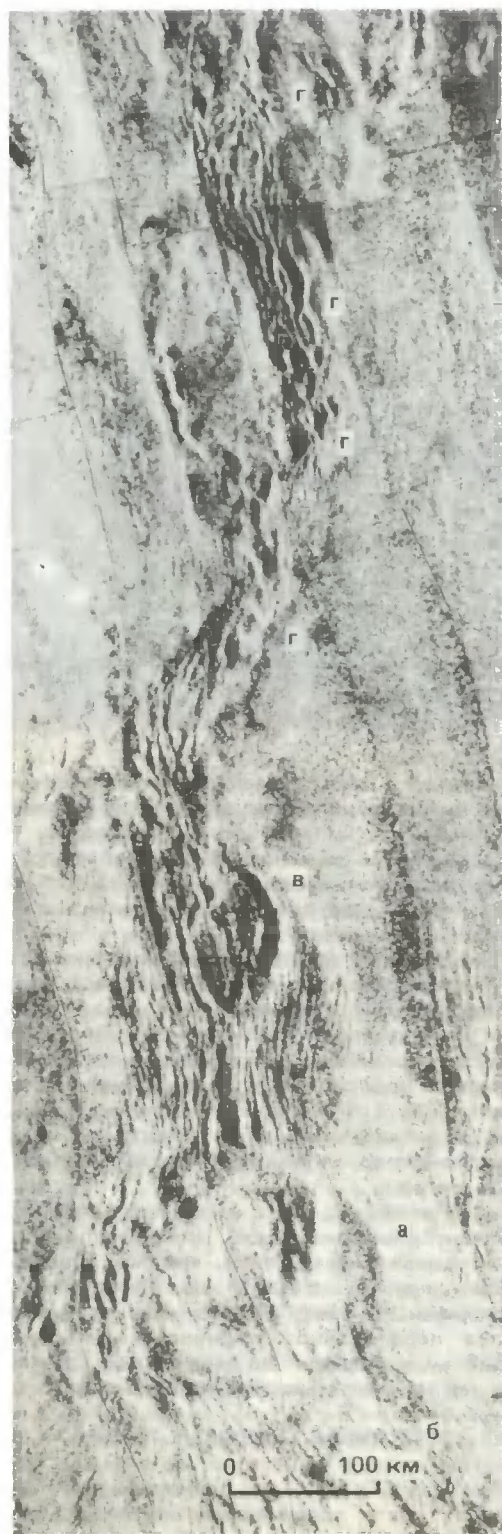
матических даек, оказавшихся на поверхности. Когда такие субпараллельные «дисперсные» дайки сближаются, они образуют не складчатый, а именно дайковый пояс, похожий на земные комплексы «дайка к дайке», характерные для срединно-океанических областей растяжения.

Конечно, препарированные дайки Земли нельзя рассматривать как полные аналоги грядовых поясов Венеры — ведь на Венере, как уже сказано, почти нет эрозии. Это должны быть линейные скопления вязких лав, застывших неподалеку от извергавшей их трещины, так что образуются аккумулятивные экструзивные валы шириной до 2—4 км и высотой вряд ли больше нескольких десятков метров.

Интересно, что и на земных материках такие образования редки. Но на дне океанов, где условия извержений, видимо, ближе к венерианским, их все чаще обнаруживаютсонарами бокового обзора. Они протягиваются параллельно срединно-океаническим хребтам и выглядят на эхограммах примерно так же, как грядовые пояса Венеры.

ВУЛКАНЫ В ГРЯДОВЫХ ПОЯСАХ

Помимо линейных дайкообразных тел в поясах часто встречаются аккумулятивные



Один из грядовых поясов Венеры с широким набором разнотипных структур. Внизу виден 110-километровый вулканический комплекс (а), южнее которого пояс расщепляется на серию автономных гряд (б); в центре сближенные гряды частично пересекают линзовидную кальдеру, а частично перекрыты слагающими ее породами (в); вверху — цепь сливающихся небольших куполов, кальдер, щитовых вулканов и отдельных даек (г). Весь вулканический пояс «погружен» на несколько сотен метров относительно окружающих равнин.

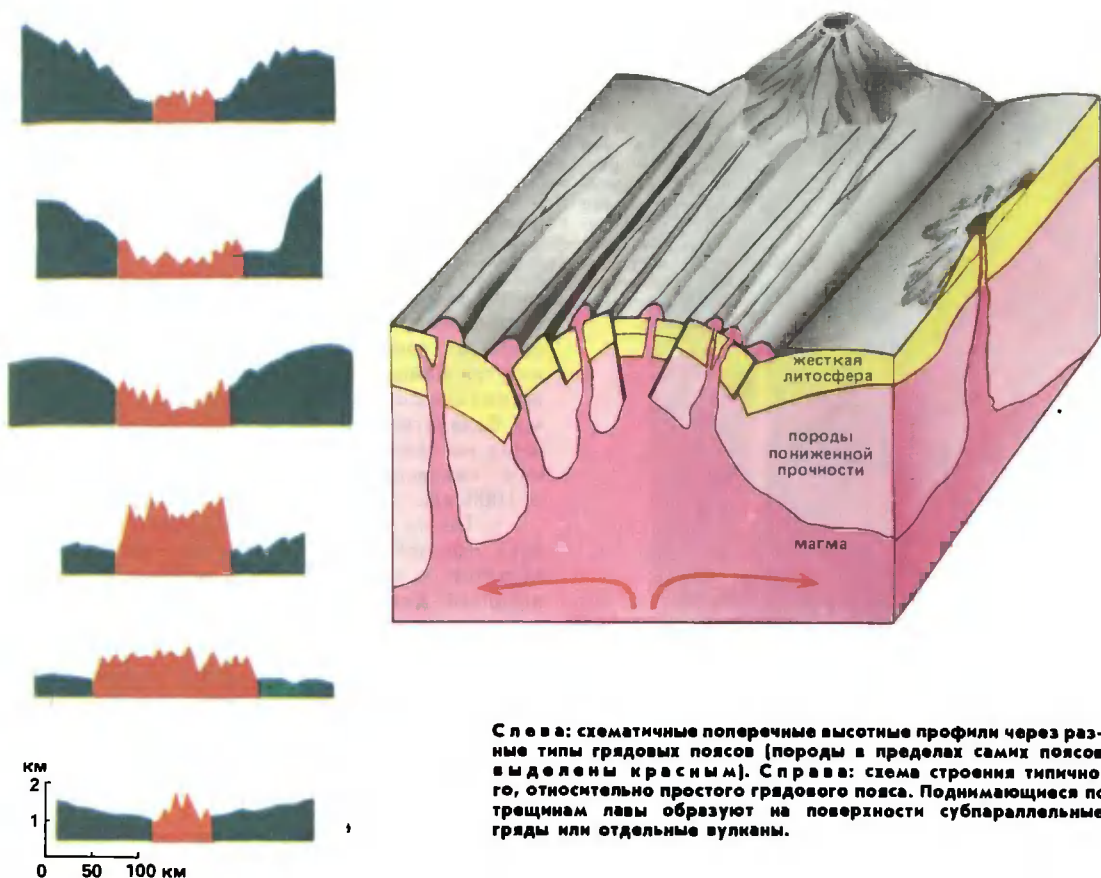
образования поперечником в десятки километров. Они перекрывают прилегающие мелкие гряды, но в целом структуры пояса «облекают» такие образования. По-видимому, это вулканы, возникшие над отдельными магматическими диапирами.

Кроме того, в некоторых поясах видны кольцевые или линзовидные структуры несомненно магматического происхождения — самая крупная из них достигает в поперечнике 120 км. Эти структуры развивались синхронно с самими поясами, так как одни линейные гряды пересекают кольцевые образования, а другие скрываются под ними. Иногда они сливаются в сплошную цепь вулканических форм, где складчатым образованиям просто не остается места.

Крупные кольцевые структуры грядовых поясов можно сравнить с горячими точками в земных океанах. В таком случае, если горячая точка существует долгое время, то движение литосферы над ней должно привести к перемещению вулканической структуры на поверхности планеты. И действительно, имеется несколько случаев, когда последовательно перекрывающие друг друга небольшие вулканы перемещаются почти под прямым углом к системе грядовых поясов Венеры.

Кроме того, вдоль оси главного «веера» поясов на равнинах мы видим три интереснейших образования. На 77° с. ш., 205° в. д. находится вулканогенное образование — овоид, как бы составленный из двух дуг, расстояние между центрами которых равняется примерно 70 км. На 66° с. ш., 207° в. д. — похожая структура, половинки которой раздвинуты почти на 100 км. И наконец, на 50° с. ш., 205° в. д. расположен овоид, к которому с запада и востока примыкают половинки структуры, разорванной и раздвинутой в широтном направлении на 200 км.

Тесная связь грядовых полос с вулканическими структурами подтверждается еще и тем, что по крайней мере в трех местах на продолжении затухающего и скрывающегося под лавами пояса мы видим «стада» крупных кольцевых структур, несомненно имеющих магматическое происхождение.



Слева: схематичные поперечные высотные профили через разные типы грядовых поясов (породы в пределах самих поясов выделены красным). Справа: схема строения типичного, относительно простого грядового пояса. Поднимающиеся по трещинам лавы образуют на поверхности субпараллельные гряды или отдельные вулканы.

ГРЯДОВЫЕ ПОЯСА — ЗОНЫ РАСТЯЖЕНИЯ

Несмотря на обманчивое внешнее сходство грядовых поясов Венеры со складчатыми системами Земли, особенности их строения и положения позволяют предположить, что эти пояса образовались в зонах растяжения и соответствуют земным структурам спрединга².

Первичный пояс закладывается там, где растягиваемая литосфера истончается, и под ней начинает подниматься линейный магматический диапир. Причины такого растяжения, будь то изменение ротационного режима, конвекция в мантии и т. д., нам пока неизвестны, но мы можем проследить эволюцию пояса, отталкиваясь от его морфологических особенностей. Изначально над диа-

пиром возникает свод и, возможно, размягченное вещество свода «оплывает» по его сторонам, образуя местами характерные «воротнички» у подножий. Затем центральная, самая тонкая, часть свода проседает, образуя грабен, и по трещинам на своде и вдоль него изливаются лавы: при их застывании лавовые каналы закупориваются дайками, а на поверхности остаются экструзивные гряды.

При дальнейшем развитии процесса новый грабен может образоваться в центре существующей зоны растяжения, так что вся она раздвинется и новые порции лав будут изливаться преимущественно в центре, или же новые трещины появятся преимущественно вдоль одного края пояса. В первом случае образуется симметричный пояс, в котором структуры на одном его краю соответствуют структурам на другом.

Однако опыт картирования всей заснятой поверхности показывает, что на Венере новые активные разрывы, как правило, появляются только с одной стороны пояса.

² Суханов А. Л., Пронин А. А. // Доклады АН СССР. 1987. Т. 294. № 3. С. 661—665.



Пример симметричного пояса, образующегося при постоянном притоке нового вещества в его центре и разнесе старого вещества к его краям. Раздвигающийся пояс пересекает древние структуры, подступающие с востока.

На следующем этапе они могут переместиться еще дальше или же новый пояс может сразу возникнуть в 300—400 км от предыдущего, а между ними останется протяженная полоса нетронутой равнины. При этом новый пояс может отделить солидный «кусок» материкового блока, который окажется между поясами. Все это существенно отличает венерианский спрединг от земного.

Вторая особенность спрединга на Венере — редкость трансформных разломов, считающихся неотъемлемым атрибутом этого процесса на Земле. Пока лишь в одном случае на Венере обнаружены «нормальные» трансформные разломы, которые перпендикулярны оси грядового пояса и смещают его на 90 км; и довольно часто встречаются разломы, ориентированные под углом 30—60° к поясу. Флексурные (И-образные) диагональные соединения поясов и ветвей внутри них представляются для Венеры более обычными, нежели трансформные разломы. Плавные же (неступенчатые) изгибы поясов являются здесь правилом, а не исключением. Создается впечатление, что в отличие от Земли, где реализуется «жесткий» вариант спрединга и крупные блоки перемещаются по геометрически строгим дугам, литосфера Ве-

неры ведет себя гораздо пластичнее: ее блоки по ходу движения изгибаются, сдавливаются или растягиваются, оставляя мало надежды на реконструкцию этих событий³.

Возможность таких палеореконструкций затруднена еще и тем, что пространства между грядовыми поясами и «материковыми» останцами Венеры заполнены однообразными лавовыми равнинами, неизвестно что под собой скрывающими. Но эта же неизвестность позволяет нам предположить, что если пояса возникают только на стадии «медленного» спрединга (когда трещина за трещиной последовательно заполняются дайками), то стадия быстрого растяжения сопровождается массовыми излияниями базальтов, в результате которых образуются не хребты и грядовые пояса, а огромные лавовые линзы размером до 300×1000 км.

Таким образом, перед нами открывается прелюбопытная картина, многие части которой к тому же пока остаются полной загадкой для специалистов. Мы не упомянули о полях «рассеянного» спрединга, «перехватах» одних поясов другими и о многом другом. Здесь хотелось бы подчеркнуть только главный наш вывод о том, что грядовые пояса Венеры представляют собой зоны растяжения.

РАСПОЛОЖЕНИЕ ПОЯСОВ

Основной веер грядовых поясов на равнинах в секторе от 150° до 250° в. д. — это комплекс структур растяжения, заполненных относительно молодым магматическим материалом. Внутри него имеется лишь несколько осколков тессер предположительно более древнего возраста, но в общем и пояса, и вмещающие их равнины — самые молодые образования на всей изученной территории. При этом прослеживается тенденция омоложения поясов в направлении от краев веера к его оси — это видно по пересечению некоторых поясов.

Этот веер своей вершиной у северного полюса как бы врезан в «материковую» область, для которой характерны приподнятые блоки тессер, ороиды, горные системы, крупные зоны дробления и т. д. Представляется, что некогда этот массив смыкался в единую приполярную шапку, а затем (по неясной пока причине) раскололся и раздвинулся с

³ Sukhanov A. L., Pronin A. A. // Proc. of 19-th Lunar and Planetary Conf. Houston, 1988.



Косые И-образные соединения разных поясов и элементов внутри них, свидетельствующие либо о большей пластичности коры Венеры по сравнению с земной, либо о тангенциальных перемещениях вещества вдоль грядовых поясов.



поступлением нового материала в основном в области $200\text{--}210^\circ$ в. д. Видимо, данный массив продолжает раскалываться и сейчас, поскольку каждый новый этап спрединга отмечен перемещением активности к острию входящего клина грядовых поясов, где формируются новые структуры растяжения.

В противоположном квадранте $0\text{--}90^\circ$ в. д. также видны признаки дробления древнего субстрата и формирования относительно молодых поясов в раздвиге между «материковыми» блоками, но здесь картина еще далека от ясности.

На юге веер грядовых поясов расширяется, частично перекрывается лавами поднятия Ульфрун и... упирается в границу съемки. Что же находится за ней?

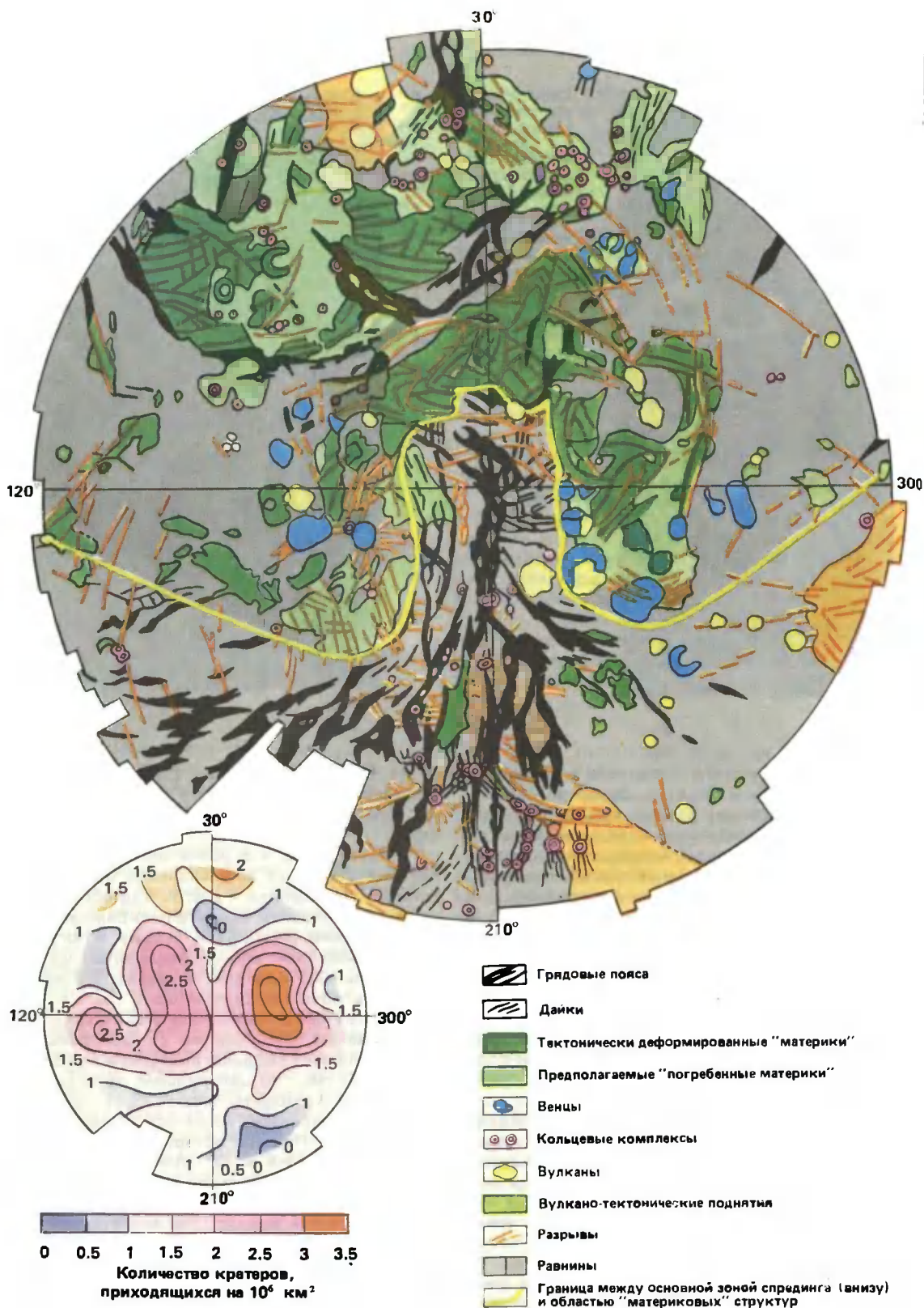
Там начинается второй «материк» Венеры — земля Афродиты. Ее полоса идет сначала на юго-запад, а затем вдоль экватора примерно до 60° в. д. Она делится на несколько блоков, как бы смещенных друг относительно друга. По ее оси расположена цепь впадин, по всей вероятности, представляющих собой грабены.

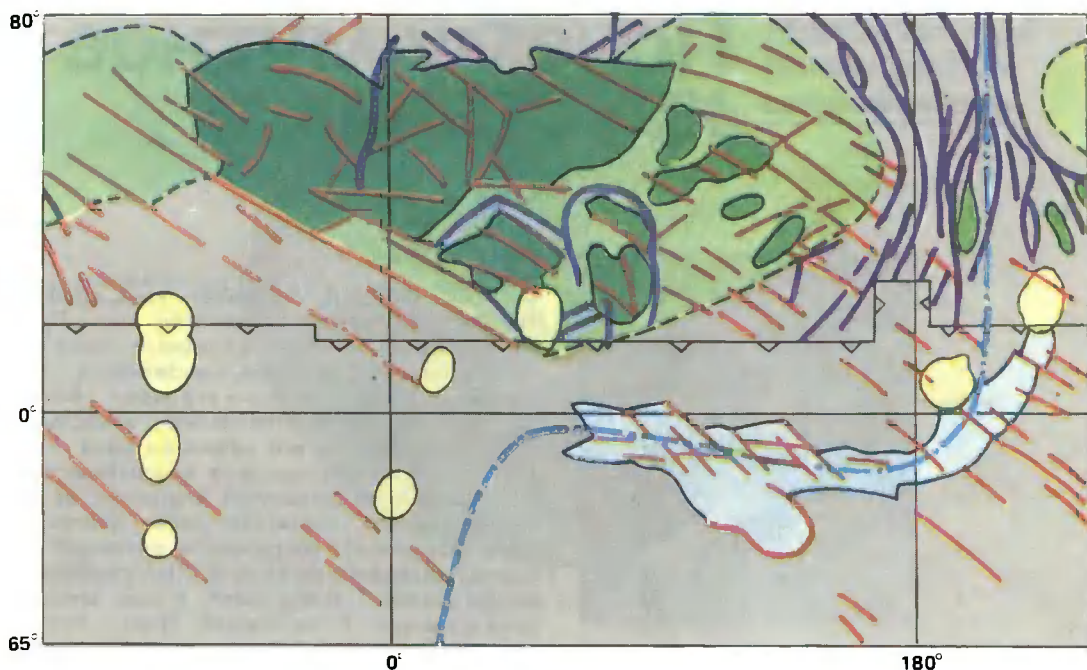
На остальной территории, судя по данным аппарата «Пионер-Венера», можно про-

вести несколько крупных разрывов, совпадающих по направлению с северо-западными разрывами на «нашей» территории Венеры.

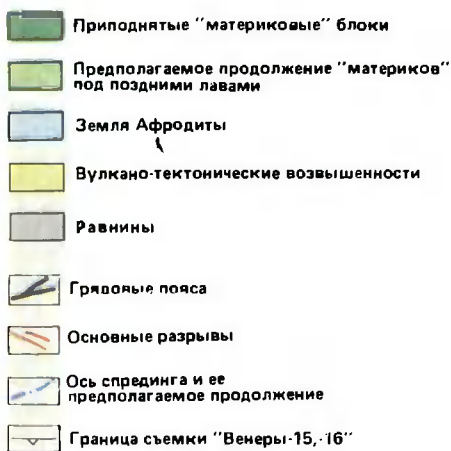
Интересно, что почти одновременно с нашими работами американские исследователи Л. С. Крамплер и Дж. У. Хэд сообщили, что они установили удивительно симметричное строение рельефа к северу и югу от центральной оси земли Афродиты. Серия параллельных профилей показала, что рельеф здесь понижается примерно так же, как на флангах срединно-океанических хребтов, и на равных расстояниях от центральной оси появляются сходные выступы и впадины.

Если так, то центральная зона грабенов земли Афродиты может быть продолжением выявленной нами оси спрединга в зоне поясов. Правда, остается непонятным, как стыкуются эти зоны: почему, например, низкие грядовые пояса южнее 30° с. ш. сменяются горным сооружением и имеют ли они одинаковый возраст? Не является ли вся земля Афродиты частью, отделенной от земли Иштар? И наконец, нет ответа на вопрос, куда от западного конца земли Афродиты продолжают структуры спрединга. Судя





Распределение геологических структур на поверхности Венеры по данным космических аппаратов «Венера-15», «Венера-16» и «Пионер-Венера» [меркаторская проекция].



Вверху: распределение грядовых поясов на территории Венеры, заснятой аппаратами «Венера-15», «Венера-16». Внизу: возрастное деление поверхности Венеры, основанное на подсчете количества ударных кратеров (составил Г. А. Бурба). Хорошо видно, что север поясов, ось которого проходит вдоль 205° в. д., занимает самую молодую область (наименьшая плотность кратеров).

по косвенным данным, они уходят в сторону южного полюса в полосе 10—50° с. ш., но окончательного ответа надо ждать после полета американского аппарата «Магеллан», который снимет эту область с большим разрешением.

В заключение нам остается добавить, что если равнины Венеры представляют собой зоны спрединга, то должны быть и зоны сжатия, скучивания материала коры. Скорее всего, они приурочены к крупному «материковому» массиву Венеры — земле Иштар, строение которого чрезвычайно своеобразно. Но это — предмет особого разговора.

М. А. Бабижаев
И. В. Брикман

Почему мутнеет хрусталик



Марк Аркадьевич Бабижаев, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела патофизиологии и биохимии глаза Московского научно-исследовательского института глазных болезней им. Гельмгольца Министерства здравоохранения РСФСР, врач-биофизик. Основные научные интересы связаны с молекулярными механизмами развития катаракты.



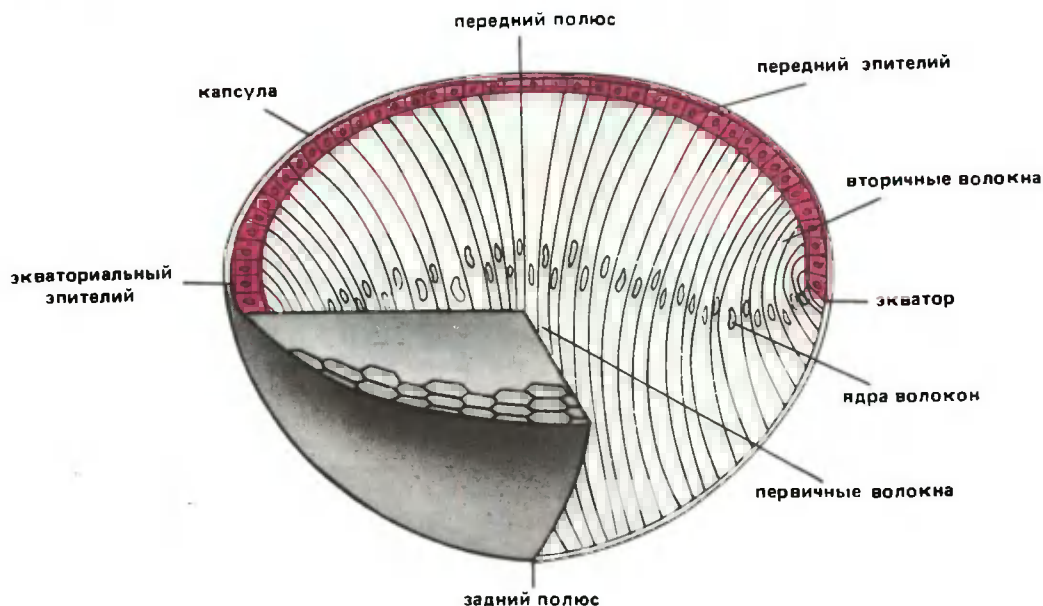
Игорь Владимирович Брикман, кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела травматологии того же института. Специалист в области хирургического и медикаментозного лечения травматических катаракт.

В ОПРОС этот занимает умы специалистов уже не один десяток лет. Причины вполне понятны: сегодня в мире от катаракты — заболевания, вызванного помутнением хрусталика, — страдают более 50 млн человек. К сожалению, единственным эффективным его лечением пока остается только хирургическое вмешательство. По оценкам американских специалистов из Национального института глаза (Бетесда, штат Мэриленд), сокращение операций по поводу катаракты на 45 % в США сэкономило бы более 1 млрд долл. в год. Однако используемые в настоящее время лекарственные препараты не только не могут вернуть хрусталику утраченную прозрачность, но даже не способны задержать начавшееся помутнение. По-видимому, одна из причин, мешающая созданию лекарства против катаракты, — отсутствие единого мнения о механизме возникновения болезни.

Большинство исследователей сегодня признают множественную природу катаракты, выделяя массу факторов риска, приводящих к помутнению хрусталика. Сюда относятся физические воздействия (например, тепло, вызывающее термическую катаракту, или «катаракту стеклодувов», или ионизирующее излучение, порождающее лучевую катаракту). Помутнение хрусталика может быть вызвано некоторыми лекарствами, а также серьезными метаболическими нарушениями, такими как диабет. Выделяют также старческую катаракту, хотя старение нельзя считать непосредственной причиной патологии.

Офтальмологи обычно различают катаракту по месту ее локализации: субкапсулярную, переднюю, экваториальную, задне-кортикальную, ядерную и т. д. В зависимости от степени помутнения хрусталика выделяют начальную, незрелую, почти зрелую, зрелую и перезрелую катаракту.

Но, может быть, такая масса градаций вовсе не говорит о множественной природе этой патологии? Быть может, истинная причина помутнения хрусталика связана с биохимическими повреждениями? Прежде чем рассмотреть тонкие молекулярные процессы, протекающие в ткани хрусталика,



Строение хрусталика глаза человека. На срезе хорошо видна плотная упаковка хрусталиковых волокон, поперечное сечение которых 3×10 мкм, а зазор между ними $20 \text{ \AA}$.

обратимся к строению этой жизненно важной тканевой структуры органа зрения.

Для осуществления своей основной функции — фокусировки света на сетчатку — хрусталик должен сохранять прозрачность. Этой же цели подчинено и его строение: в хрусталике нет кровеносных сосудов; почти все его клетки не имеют клеточных оргanelл — они теряют ядра, митохондрии, цитоплазматические включения при дифференцировке; межклеточные расстояния в хрусталике меньше длины волны падающего света. Вещество хрусталика состоит из волокон, образованных белками — кристаллинами. И хотя этих белков в прозрачном хрусталике чрезвычайно много (35—40 % от общей массы), они не агрегируют в частицы, размеры которых сравнимы с длиной волны света. Такая высокая концентрация белка необходима для обеспечения соответствующей силы рефракции ткани хрусталика. Волокна хрусталика тесно прилегают друг к другу и разделены между собой плазматическими мембранами. При росте хрусталика клетки его эпителия удлиняются и превращаются в волокна, которые, теряя ядра, отодвигаются в центральную часть линзы. Таким образом, наиболее старые (первичные) волокна оказываются в центре хрусталика, а

наиболее молодые (вторичные) — на периферии. Волокна обновляются в течение всей жизни человека, при этом наибольшей метаболической активностью обладает эпителий хрусталика — в этой периферической зоне сконцентрированы основные ферменты системы защиты хрусталика, обеспечивающие его жизнедеятельность.

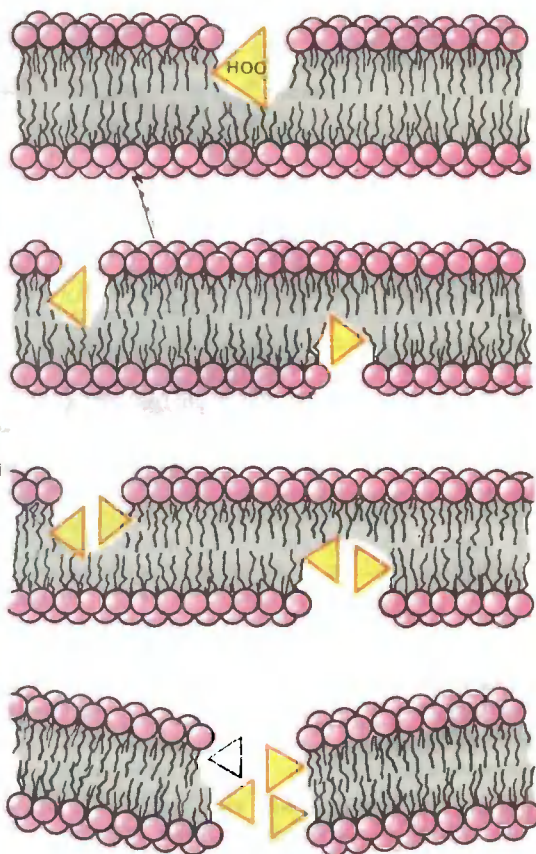
В последние годы в изучении биологических мембран достигнуты крупные успехи: расшифрована общая схема их строения, установлена роль структуры липидного слоя для нормального функционирования мембранных белков, а также роль мембран в регуляции внутриклеточных процессов. Появилась теоретическая основа для использования достижений физической химии в медицине.



Классификация катаракт в зависимости от локализации зоны помутнения (показана цветом).



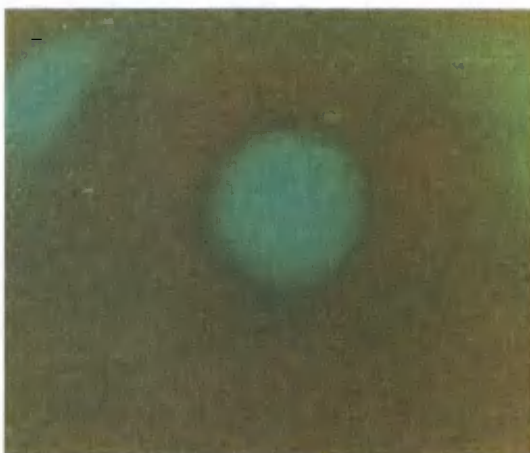
Передняя полярная катаракта. Небольшое (до 2 мм в диаметре) помутнение, расположенное в центре передней поверхности хрусталика, состоит из сильно измененных хрусталиковых волокон, расположенных под капсулой хрусталика. Этот вид катаракты, как правило, зрения не снижает.



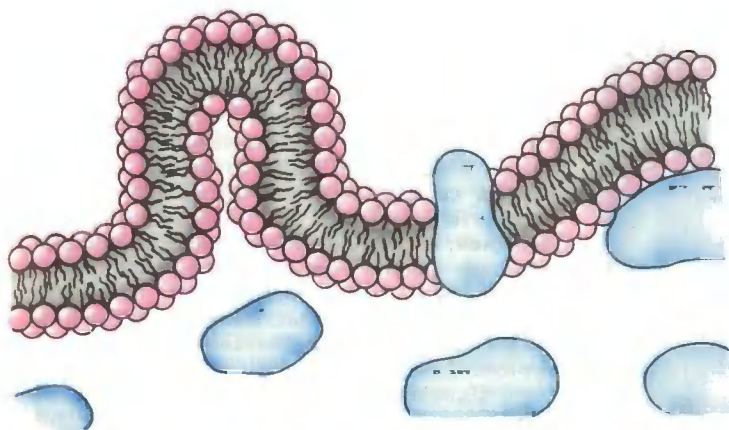
Еще в 60-е годы Б. Н. Тарусов и Н. М. Эмануэль, опираясь на детально разработанную к тому времени теорию жидкофазного окисления углеводородов, сформулировали представления о возможности свободнорадикального (перекисного) окисления липидов в биологических системах. Идеи о ведущей роли этого процесса в развитии патологических состояний первоначально были высказаны для двух заболеваний — лучевой болезни и злокачественных опухолей. В последующие годы список заболеваний, в развитии которых участвует перекисное окисление липидов, существенно расширился. Вполне возможно, что в случае катаракты перекисное окисление липидов мембран может быть реальным фактором, приводящим к дегенерации ткани хрусталика.

Известно, что при старении, и особенно при развитии старческой катаракты, в хрусталике и омывающей его водянистой влаге снижается активность ферментных и неферментных антиокислительных защитных систем. Там накапливаются соединения, по-

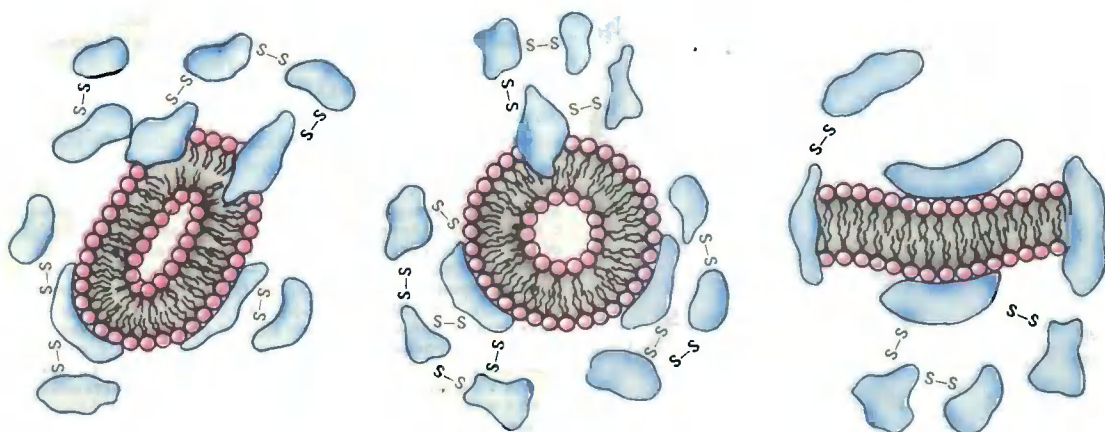
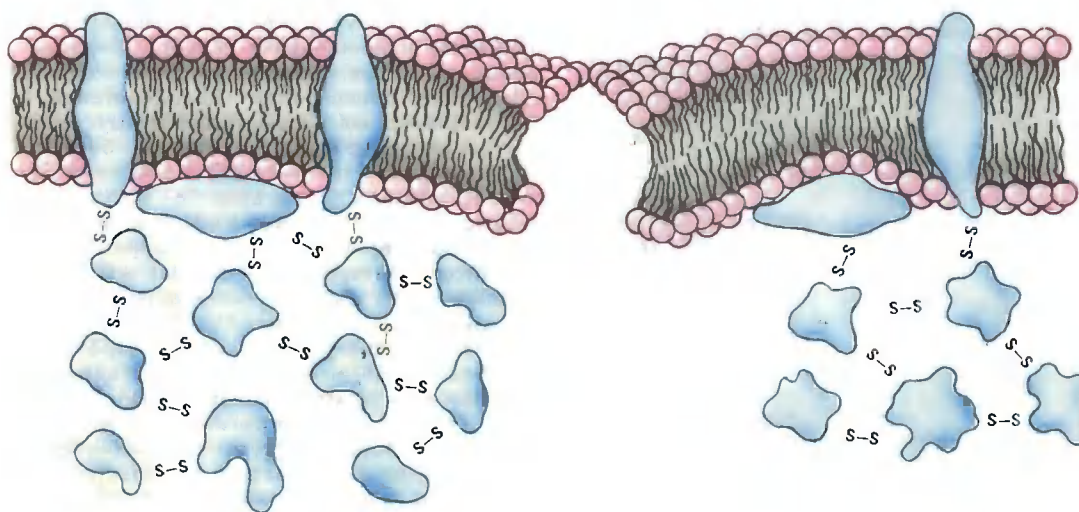
Стадии перекисного повреждения плазматической мембраны. Образовавшиеся в процессе перекисного окисления гидроперекисные группы (HOO) нарушают межмолекулярные взаимодействия внутри мембраны, в результате чего происходит ее фрагментация.

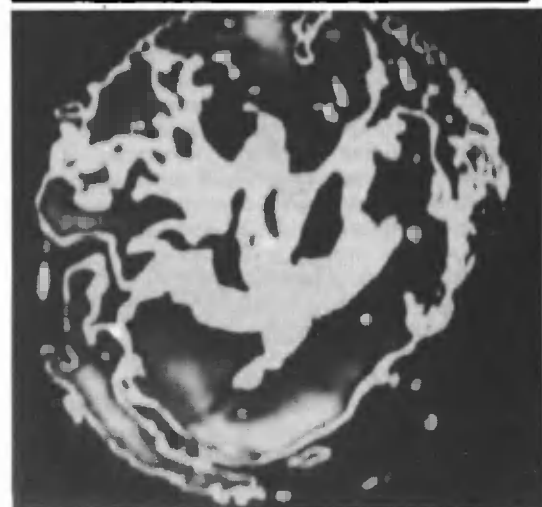
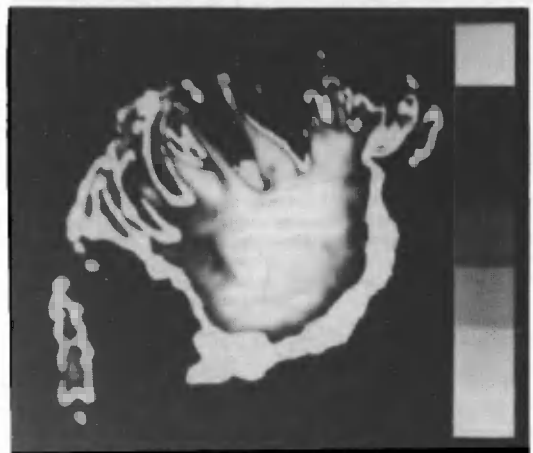
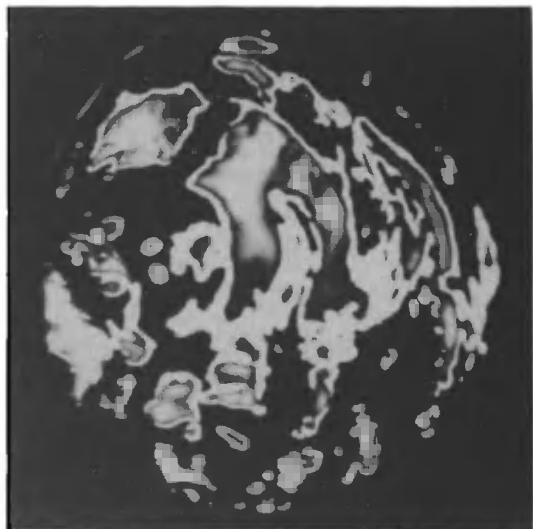


Сине-зеленая флуоресценция хрусталика с катарактой, свидетельствующая о накоплении продуктов перекисного окисления.



Структурные изменения мембран в результате перекисного повреждения: вверху — изменение кривизны липидного бислоя, в середине — образование белковых агрегатов с помощью сульфидрильных связей [S—S], внизу — фрагменты мембран в окружении белковых глобул.





глошающие ближний ультрафиолет (360—400 нм) и активирующие реакции перекисного окисления. Под действием света эти вещества способствуют образованию активных форм кислорода, токсичных для хрусталика. Кроме того, известны разновидности катаракты, развитие которых связано с образованием кислородных радикалов (например, катаракта, вызванная гипербарической оксигенацией; псораленовая катаракта, возникающая при лечении заболевания кожи фурукумарином; экспериментальная катаракта лабораторных животных, вызванная введением в пищу ингибитора каталазы — мощного антиоксидантного фермента).

Однако прямых данных, подтверждающих активацию перекисного окисления липидов при катаракте, до сих пор не было.

Проявление катаракты на молекулярном уровне сопровождают три признака: образование крупных высокомолекулярных агрегатов, возникновение голубой флуоресценции и повреждение мембран волокон хрусталика. Большинство исследователей в настоящее время рассматривают хрусталик как сумку, однородно заполненную белком, и потому видят причину образования высокомолекулярных агрегатов в изменении физико-химических свойств кристаллинов. На основе полученных нами биохимических результатов и литературных данных мы предположили, что развитие катаракты вызвано повреждением мембран.

С помощью электронного микроскопа мы обнаружили, что в начальной стадии заболевания, когда хрусталик прозрачен и в его ткани нет белковых агрегатов, изменяется упорядоченность структуры плазматических мембран и на них образуются характерные шишковидные выпячивания. По мере помутнения хрусталика увеличивается электронная плотность волокон, на мембранах образуется большое число выпячиваний, закручиваний и появляются фрагменты мембран. Затем возрастает кривизна мембранных фраг-

Морфометрический анализ помутнения хрусталика с помощью тепеэкрана: вверху — незрелая старческая катаракта (абсолютная площадь выделенной зоны 25 714 отн. ед.); в середине — почти зрелая старческая катаракта (12 684 отн. ед.); внизу — незрелая катаракта (42 319 отн. ед.). Светлые участки — выделенная нами как эталон зона с повышенной оптической плотностью, более темные — зона с меньшей оптической плотностью (более прозрачная), совсем темные — наиболее мутные зоны хрусталика. Слева — шкала оптических плотностей зоны помутнения. Так выявляется топография помутнения линзы.

ментов, и, наконец, на поздних стадиях катаракты возникают глобулы, заполненные веществом белковой природы. Образование таких крупных (до 6000 нм) агрегатов сопровождается полной потерей прозрачности хрусталика. Из литературы известно, что при образовании белковых агрегатов хрусталика в цитоплазму попадают фрагменты мембран. Об этом говорит наличие в белковой фракции фосфолипидов, которые в норме сосредоточены лишь в мембранах. По-видимому, агрегация кристаллинов связана с повреждением липидного слоя мембран.

Однако отсутствие количественной информации о реальных масштабах перекисного окисления, вызванное в первую очередь методическими трудностями, привело к тому, что ряд авторитетных исследователей высказал категорическое сомнение в возможности участия перекисного окисления липидов в патогенезе катаракты¹.

Дело в том, что в ходе перекисного окисления липидов образуются различные радикалы, промежуточные высокоактивные молекулярные продукты, а также широкий набор низкомолекулярных соединений, определение которых подчас весьма затруднительно. Используя различные физико-химические методы регистрации продуктов окисления, мы обнаружили, что по мере помутнения хрусталика содержание первичных (гидроперекисей), вторичных (кетодиевов) и конечных (шиффовых оснований) продуктов перекисного окисления липидов нарастает. При этом количество гидроперекисей возрастает от начальных стадий заболевания вплоть до почти зрелой катаракты. Однако при зрелой и перезрелой катаракте их концентрация несколько снижается.

Может показаться, что при полном помутнении хрусталика перекисного окисления вообще нет, поскольку продукты, характеризующие интенсивность этого процесса, исчезают. По-видимому, это и ввело в заблуждение многих исследователей, пытавшихся обнаружить активацию окисления липидов при катаракте. Однако нам удалось установить, что содержание конечных флуоресцирующих продуктов перекисного окисления в липидном экстракте непрерывно возрастает по мере развития катаракты². При этом их накопление зависит от стадии заболевания, но не от вида катаракты, что

позволяет отметить универсальную роль перекисного окисления в этой патологии³.

Каков же возможный механизм действия перекисного окисления липидов в патогенезе катаракты? В ходе окисления липидов могут возникать модифицированные кислородом фосфолипиды, способные изменять микроокружение фосфолипидных молекул. Такие фосфолипиды мы обнаружили при катаракте в мембранной фракции липидов с помощью газовой хроматографии — метода, который традиционно используют для определения жирных кислот в биологических объектах. Зная соотношение насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в тканях, можно косвенно судить об активности окисления. Однако если абсолютное содержание ненасыщенных кислот меняется незначительно, метод становится неэффективным. Но когда мы пометили все жирные кислоты фтористой меткой и использовали для анализа галоген-замещенных производных жирных кислот специальный детектор, чувствительность метода возросла в десятки раз. Это позволило определять в тканевых экстрактах даже самые ничтожные количества оксипроизводных жирных кислот⁴.

Разнообразие продуктов перекисного окисления липидов обуславливает и широкий спектр эффектов, влияющих на помутнение хрусталика: дезинтеграцию мембран, образование новых флуорофоров, формирование высокомолекулярных агрегатов. Накопление продуктов окисления в мембранах может угнетать работу мембранных ферментов, нарушать белок-липидные взаимодействия и взаимодействие мембраны с элементами цитоскелета и водорастворимыми белками, а также ионный транспорт через мембрану.

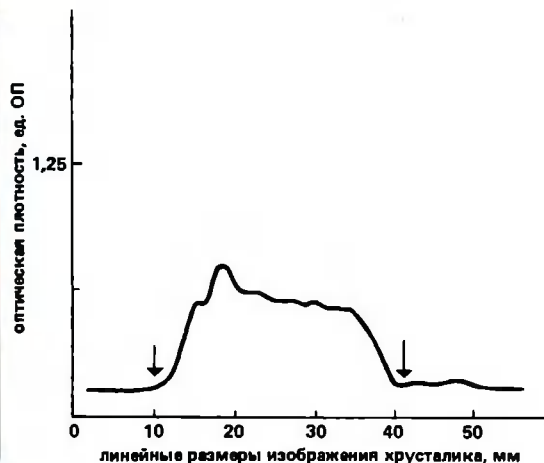
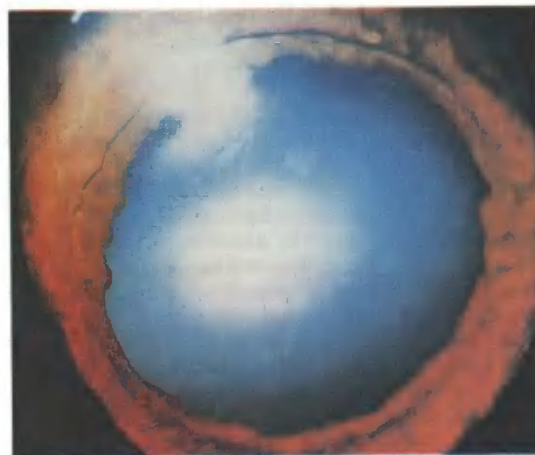
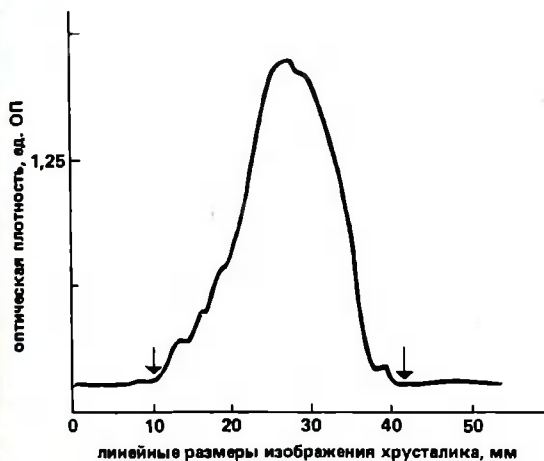
Что же служит причиной структурных изменений плазматических мембран и какие продукты перекисного окисления ответственны за эти нарушения? Известно, что при окислении фосфолипидов образуются полярные (гидроперекисные, карбонильные) группы, что, в свою очередь, неизбежно отражается на межмолекулярных взаимодействиях. Такие модифицированные молекулы, обладающие свойствами детергентов, изменяют геометрию липидного слоя, увеличи-

¹ Corongiu F. P., Vargiolu S. // Exp. Eye Res. 1985. Vol. 40. № 1. P. 149—153.

² Бабижаев М. А., Деев А. И. // Биофизика. 1986. Т. XXXI. Вып. 1. С. 109—114.

³ Бабижаев М. А., Брикман И. В., Деев А. И., Владимиров Ю. А., Бунин А. Я. // Бюлл. эксп. биол. мед. 1986. Т. CI. № 4. С. 412—413.

⁴ Babizhaev M. A., Deyev A. I., Linberg L. F. // Mech. Ageing Developm. 1988. Vol. 44. P. 69—89.



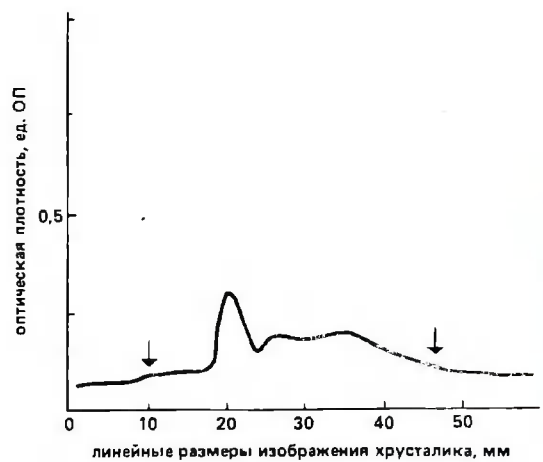
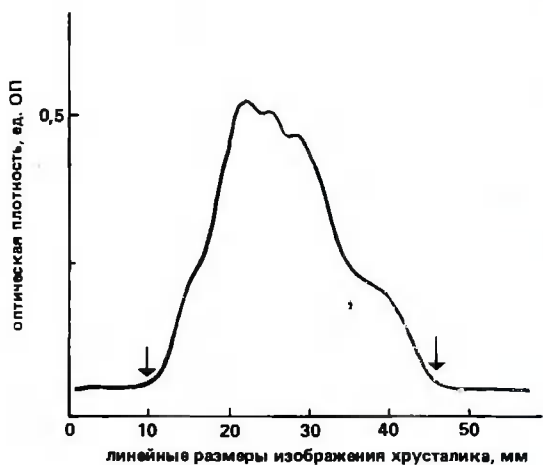
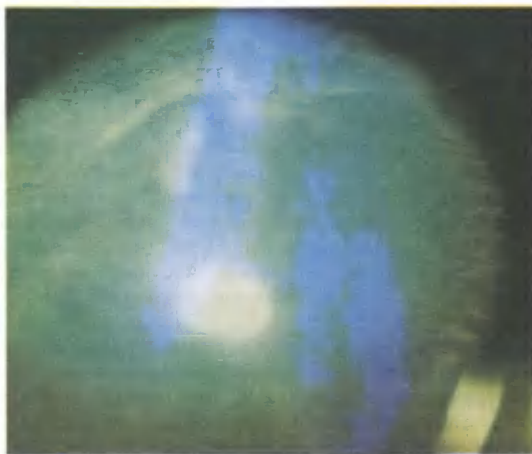
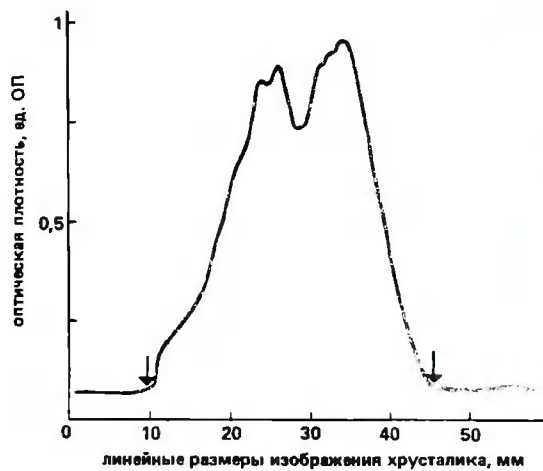
Хрусталики собак со старческой катарактой и соответствующие денситограммы в различные сроки лечения антиоксидантами (сверху вниз, слева направо): интенсивное диффузное помутнение в области ядра и кортекса до начала лечения (прозрачные зоны — синие-голубые, зоны помутнения — светлые участки); тот же глаз через 2 мес после начала лечения (интенсивность и площадь помутнения в переднем кортексе уменьшились); помутнение в заднем кортексе; тот же глаз через 10 дн после лечения (светло-красная окраска глазного дна свидетельствует о частичном восстановлении прозрачности); через 6 мес лечения (зона помутнения заметно уменьшилась). Стрелками обозначены границы хрусталика в зоне экватора.

вают кривизну мембраны. По-видимому, этот эффект и лежит в основе фрагментации мембран при катаракте.

Каковы механизмы образования межмолекулярных белковых сшивок при катаракте? Поскольку среди продуктов перекисного окисления липидов имеются бифункциональные соединения типа диальдегидов, участвующих в межмолекулярном сшивании, можно считать, что перекисное окисление

инициирует образование крупных белковых агрегатов, которое и приводит к помутнению хрусталика. Этот вывод подтверждается данными биохимического анализа: нам удалось зарегистрировать накопление флуоресцирующих продуктов окисления, инициирующих образование межмолекулярных сшивок в хрусталике больного катарактой.

Еще одна причина образования белковых агрегатов — сшивание белковых мо-



лекул с участием свободных радикалов, образующихся в ходе перекисного окисления. В норме агрегации кристаллинов препятствует достаточное количество тиоловых ($-SH$) групп в хрусталике, что обеспечивается присутствием восстановленного глутатиона — физиологически важного трипептида. Поскольку содержание SH -групп в волокнах хрусталика быстро уменьшается при увеличении интенсивности перекисного окисления, можно полагать, что именно этот процесс в мембранах и вызывает катаракту.

Однако у многих скептиков возникает вопрос: может ли модификация липидов, составляющих всего 2 % от общей массы хрусталика, изменять конформацию и растворимость его белков? Другими словами, является ли перекисное окисление липидов лишь сопровождающим фактором катаракты, или в ряде случаев его активность может инициировать помутнение хрусталика? Ответить на этот вопрос помогает изучение субкапсулярной катаракты, часто сопутствующей наследственному поражению сетчатки, так называемому пигментному ретиниту. По мнению клиницистов, катаракта здесь носит вторичный, ненаследственный характер и вызвана образованием неизвестных аномальных метаболитов, которые, диффундируя через стекловидное тело, приводят к помутнению хрусталика.

Как известно, фосфолипиды фоторецепторных мембран сетчатки содержат чрезвычайно много (более 70 %) легкоокисляемых полиненасыщенных жирных кислот. Учитывая это обстоятельство, легко допустить, что токсические продукты, образовавшиеся в результате окисления ненасыщенных жирных кислот, попадая в стекловидное тело, действительно могут вызвать помутнение хрусталика.

Это предположение недавно подтвердилось в модельных экспериментах. Оказалось, что при введении в стекловидное тело сильно окисленных фосфолипидов у кроликов наблюдается значительное помутнение хрусталика (насыщенные фосфолипиды, не способные окисляться, такого эффекта не дают). При этом в стекловидном теле, водянистой влаге, в самом хрусталике накапливались флуоресцирующие продукты перекисного окисления липидов. Значит, окисленные фосфолипиды инициируют развитие катаракты.

Нормальное зрение, т. е. прозрачность хрусталика, обеспечивается главным образом активностью глутатион-зависимых ферментов линзы, контролирующими окислительно-восстановительный баланс водянистой

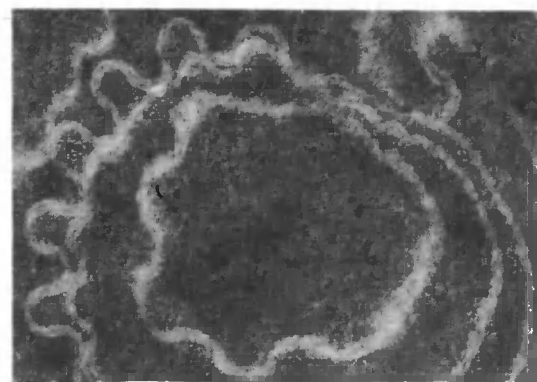
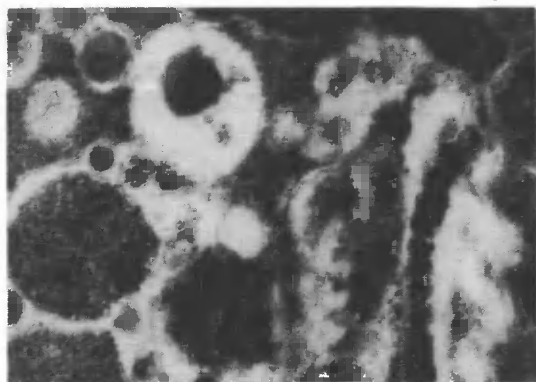
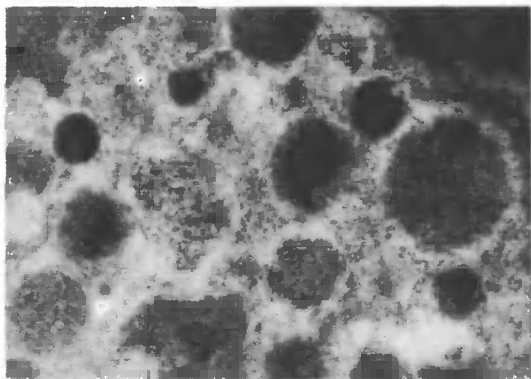
влаги и самого хрусталика. Совсем недавно в водянистой влаге больных катарактой было обнаружено значительное количество перекиси водорода (H_2O_2): если в норме ее содержание составляет 25 мкМ, то при катаракте в отдельных случаях увеличивается до 660 мкМ. Учитывая, что хрусталик — бессосудистая ткань, метаболизм которой идет исключительно за счет непосредственного контакта с влагой передней камеры, можно предположить, что накопление H_2O_2 может быть причиной повреждения тканевых структур хрусталика и других тканей, омываемых водянистой влагой. В свою очередь, нарушение перекисного гомеостаза приведет к образованию белковых высокомолекулярных агрегатов и, следовательно, к его помутнению.

Итак, хрусталику необходима система защиты от токсического действия таких окислителей, как H_2O_2 и свободные радикалы кислорода. Мы предположили, что в водянистой влаге перекись водорода накапливается в результате пониженной ее утилизации хрусталиком. Для проверки этого предположения была проведена серия экспериментов, позволяющих оценить способность хрусталика регулировать уровень H_2O_2 на различных стадиях катаракты⁵. Изолированный хрусталик человека помещали в среду с небольшой концентрацией перекиси водорода, и, используя высокочувствительный хемилюминесцентный метод, регистрировали скорость ее разрушения. Оказалось, что прозрачные хрусталики, в отличие от помутневших, активно разрушали перекись. Значит, при катаракте повреждены системы, контролирующие окислительно-восстановительный баланс.

В основе такого повреждения может лежать как угнетение какого-либо из окислительно-восстановительных ферментов, так и дефицит кофакторов антиокислительных реакций (например, глутатиона). Поскольку активность фермента, утилизирующего перекись (каталаза), в помутневших хрусталиках существенно не менялась, а восстановленный глутатион, добавленный в среду, значительно усиливал разложение H_2O_2 , можно заключить, что угнетение защитной системы хрусталика вызвано преимущественно дефицитом глутатиона.

Таким образом, в ходе этих экспериментов была выявлена роль окислитель-

⁵ Бабижаев М. А., Деев А. И., Владимиров Ю. А., Деева И. Б. // Бюлл. эксп. биол. мед. 1986. Т. СII. № 8. С. 158—160.

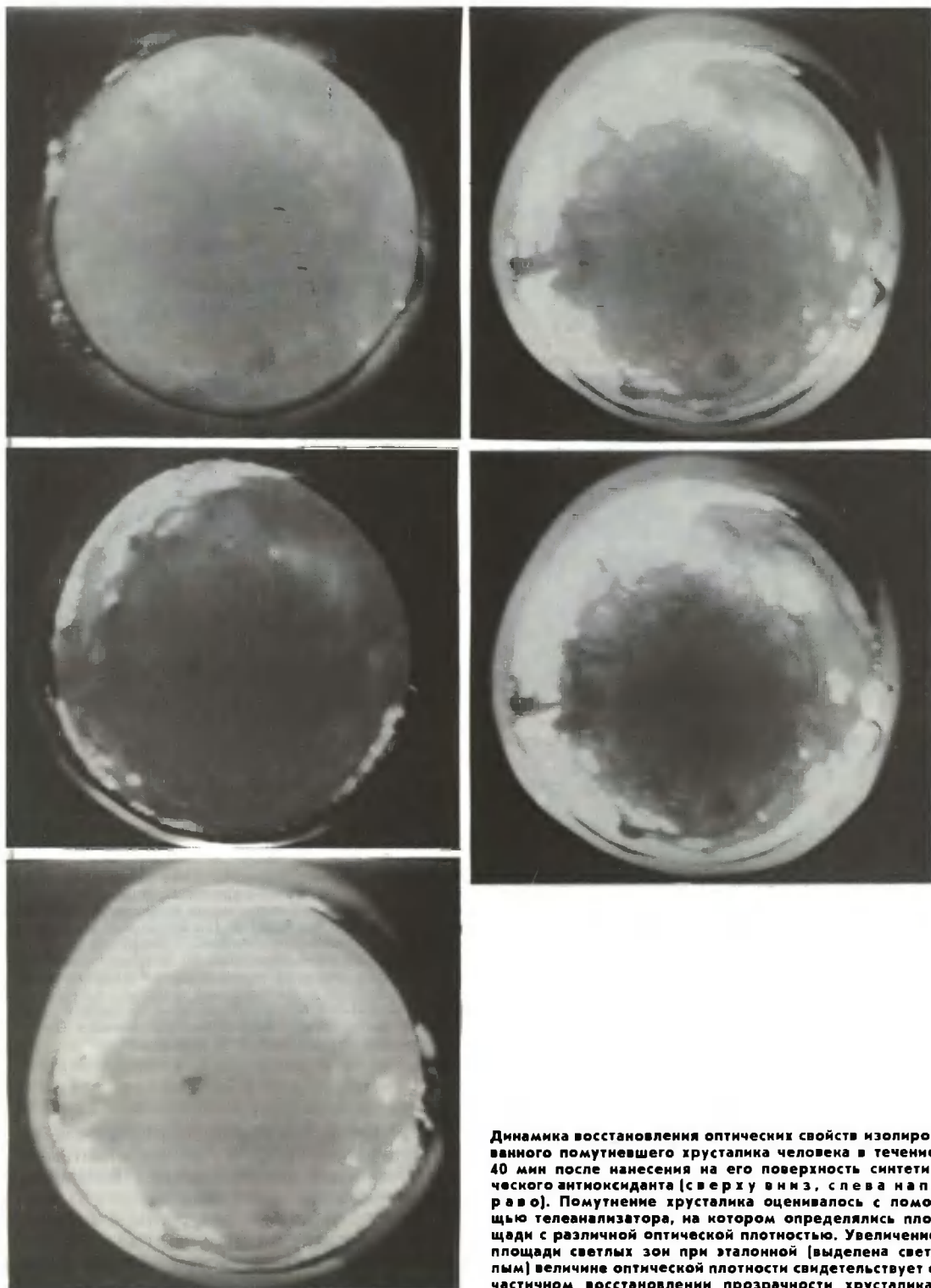


Электронные фотографии хрусталика человека (сверху вниз, слева направо): прозрачный хрусталик, в котором структура продольных волокон упорядочена; с незрелой катарактой (мембранные структуры формируют множество завитков); с незрелой катарактой, отличающейся образованием извитых мембранных структур, похожих на ожерелье; с ядерной катарактой с полной дезинтеграцией мембран и волокон, превратившихся в белковые глобулы; со зрелой катарактой, при которой волокна превращаются в глобулярные структуры. (Увел. в 20 тыс. раз.)

ного стресса в возникновении катаракты. Изучение ферментной функции хрусталика имеет не только теоретическое значение. Тот факт, что хрусталик как линза помимо своей оптической функции выполняет и каталитическую функцию разложения перекиси водорода, позволяет использовать это свойство при имплантации искусственно-

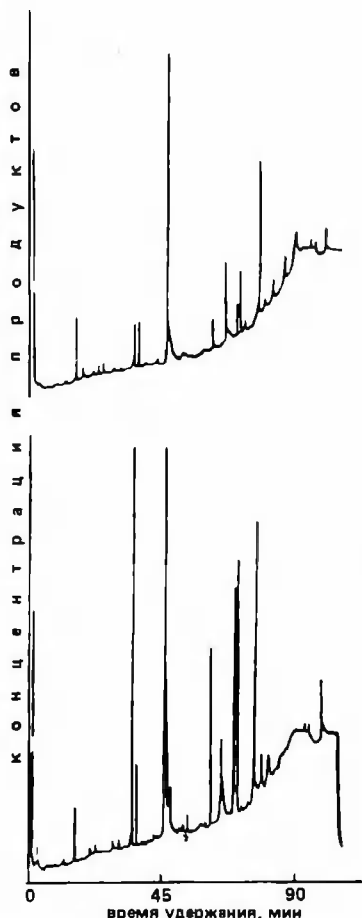
го хрусталика. Возможно, что изготовление искусственных линз с антиоксидантными свойствами сократит количество осложнений, сопровождающих эту операцию.

Сегодня лечение катаракты — это, как правило, микрохирургическая операция с применением самых современных методов. Однако успешное хирургическое лечение



Динамика восстановления оптических свойств изолированного помутневшего хрусталика человека в течение 40 мин после нанесения на его поверхность синтетического антиоксиданта (сверху вниз, слева направо). Помутнение хрусталика оценивалось с помощью телеанализатора, на котором определялись площади с различной оптической плотностью. Увеличение площади светлых зон при эталонной (выделена светлым) величине оптической плотности свидетельствует о частичном восстановлении прозрачности хрусталика.

Газовые хроматограммы липидной фракции из прозрачного (вверху) и помутневшего хрусталиков. Увеличение интенсивности пиков свидетельствует о накоплении продуктов перекисного окисления в хрусталике.



не ликвидирует источник заболевания. Идеал будущего в борьбе с этой глазной патологией — не хирургия, а терапия.

Каковы же реальные перспективы медикаментозного лечения катаракты? При анализе факторов риска этого заболевания может сложиться впечатление, что хрусталик мутнеет легко. В действительности это не так. Ведь хрусталик обладает мощной ферментной системой, предотвращающей агрегацию кристаллинов и фрагментацию плазматических мембран. Многие из этих ферментов сохраняют свою активность даже тогда, когда хрусталик уже начал мутнеть.

Наши эксперименты по изучению биохимических нарушений, происходящих при

развитии катаракты, наглядно продемонстрировали возможность коррекции перекисного метаболизма в хрусталике. Используя ингибиторы перекисного окисления (антиоксиданты) различной химической природы, предотвращающие накопление липидных перекисей и поддерживающие необходимую концентрацию восстановленного глутатиона, можно в той или иной мере ограничивать повреждение тканевых структур хрусталика.

Первоначально эта закономерность была установлена на изолированных хрусталиках человека, полученных в ходе операции. Небольшие количества антиоксиданта, нанесенные на поверхность помутневшего хрусталика, уже через 10—40 мин частично восстанавливали оптические свойства его кортикальных слоев. В этих экспериментах мы использовали разработанный нами морфометрический метод, позволяющий следить за изменением зоны помутнения хрусталика. В результате действия антиоксиданта площадь зон с высокой оптической плотностью уменьшалась, а с низкой увеличивалась. Такой же эффект наблюдался при терапии экспериментальных катаракт у кроликов, крыс, а также у собак со старческими катарактами. При этом оптические свойства помутневшего хрусталика частично восстанавливались только в кортексе, в ядре же — оставались без изменения. Это объясняется тем, что в ядре хрусталика преобладают прочные ковалентные связи, а на периферии — менее прочные дисульфидные, которые легко рвутся восстановителями.

Итак, имеющийся сегодня экспериментальный и теоретический материал позволяет говорить о ведущей роли перекисного окисления в развитии катаракты. Мы полагаем, что использование ингибиторов перекисного окисления (наиболее эффективные из них уже известны) может привести не только к предотвращению дальнейшего развития катаракты, но и к частичному восстановлению прозрачности уже помутневшего хрусталика. Но это дело ближайшего будущего: ведь сначала нужно получить из химического соединения лекарство, которое может войти в клинику только после тщательного испытания. И хотя сегодня избавить пациента от катаракты помогает операция, первые шаги для успешного медикаментозного лечения этого распространенного заболевания глаз уже сделаны.

А.С. Кривохатский

Проблема РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ



Анатолий Сергеевич Кривохатский, доктор химических наук, профессор, начальник отдела Радиового института им. В. Г. Хлопина. Область научных интересов — получение и использование трансурановых элементов, захоронение радиоактивных отходов. Лауреат Государственных премий СССР.

ПРОБЛЕМА радиоактивных отходов — новая глобальная проблема человечества. Она возникла с рождением и распространением атомной промышленности и энергетики. Как и всякая область человеческой деятельности, атомная техника порождает свои отходы — радиоактивные. Это и остатки урана или радия, не извлеченные при переработке руд, и искусственные радионуклиды, возникающие при работе реакторов и ускорителей, и выработавшие ресурс, а значит, подлежащие демонтажу реакторы, ускорители, радиохимическое и лабораторное оборудование. Во многих районах мира существуют подземные радиоактивные зоны, образовавшиеся при испытательных или промышленных ядерных взрывах, в некоторых точках сбрасываются на дно океана контейнеры с радиоактивными отходами. Время от времени случаются аварии, загрязняющие окружающую среду, — Паломарес, Туле, «Трешер», «Три Майл Айленд», Чернобыль¹... География обширна. Не более обширна, правда, чем география расположения многих других видов токсичных отходов.

ЧТО ТАКОЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ?

Радиоактивные отходы (РАО) — это побочные биологически или технически вредные вещества, которые содержат образовавшиеся в результате технической деятельности человека радионуклиды и локализованы в относительно небольшом объеме. Последним РАО отличаются от радиоактивных выбросов, неконтролируемо поступающих в окружающую среду и рассеивающихся в ней.

Особенность этих отходов в том, что их активность определяется главным образом не естественными радионуклидами, поступившими в биосферу после их извлечения из земных недр, а новыми искусственными радионуклидами, не существовавшими ранее в природе в ощутимых количествах. В принципе РАО могут содержать любые из 1300 известных радионуклидов, однако на практике в них встречаются лишь радионуклиды с периодами полураспада более нескольких часов, так как ядра с меньшим временем жизни обычно распадаются еще в ходе технологических процессов.

Радиоактивные отходы опасны прежде всего тем, что содержащиеся в них радионуклиды могут рассеяться в биосфере и вызвать как соматические расстройства, так и генетические изменения в клетках живых организмов, в том числе человека. Помимо этого, рассеивание радионуклидов в геосфере способно привести к нежелательным геофизическим явлениям, например повыше-

¹ Паломарес (Испания), Туле (Гренландия) — места аварий бомбардировщиков США, при которых произошло загрязнение поверхности радиоактивными веществами. «Трешер» — название затонувшей атомной подводной лодки ВМФ США. Об аварии на АЭС «Три Майл Айленд», расположенной в Гаррисберге (США), подробнее см.: Бабаев Н. С., Кузьмин И. И., Легасов В. А., Сидоренко В. А. Проблемы безопасности на атомных электростанциях // Природа. 1980. № 6. С. 30—43.

нию электропроводности атмосферы, а также к технически вредному загрязнению материалов.

Что же делать с радиоактивными отходами? Во-первых, нужно производить их как можно меньше. Так, защиту и несущие конструкции реакторов и ускорителей следует изготавливать из неактивируемых или слабо активируемых материалов. Необходимо сводить к минимуму технологические потери радионуклидов и таким образом повышать не только эффективность, но и безопасность производства. В перспективе этот путь сулит идеальное решение проблемы — разработку безотходной технологии, предусматривающей полную утилизацию радионуклидов, однако в ближайшие годы это неосуществимо. Другой способ уничтожить РАО — дать радионуклидам распасться (если это требует не слишком долгого времени) или подвергнуть их ядерным трансмутациям — скажем, «сжечь» в реакторе. К сожалению, этот метод применим не ко всем нуклидам. Третья возможность — сконцентрировать РАО и вывести их в космос, за пределы земного тяготения. Сейчас, однако, идут по четвертому пути — изоляции РАО в биосфере, т. е. их хранению или захоронению. Объясняется это технической и экономической неподготовленностью к более кардинальным мерам.

Хранить радиоактивные отходы в специальных хранилищах — наиболее простое решение вопроса, им в основном сейчас и пользуются. Хранить — это значит иметь возможность в случае необходимости переместить РАО, изменить их форму, упаковку, модернизировать метод и место хранения. Высокоактивные отходы чаще всего помещают в наземные или слабозаглубленные металлические или железобетонные емкости, а отходы средней и низкой активности — в хранилища траншейного типа или подземные камеры.

Захоронить РАО — значит навечно поместить их в специальные пункты захоронения («могильники»), где они были бы выведены из сферы человеческой деятельности и биологических процессов на время геологического масштаба, значительно более длительное, чем смена многих поколений людей. После захоронения отходов вмешаться в их судьбу ныне существующими средствами уже нельзя. Захоронение позволяет изолировать любые виды РАО, в том числе наиболее опасные — высокоактивные с большими периодами полураспада. Поэтому захоронение считается одним из принципиальных способов решения проблемы РАО.

Сейчас в хранении и захоронении РАО борются две тенденции: «локальная» и «региональная». Естественно желание хранить отходы на месте их возникновения. Это экономит время, средства, снимает проблему безопасной транспортировки. Однако по мере увеличения числа радиационно опасных объектов такой подход приводит к «расползанию» радиоактивных веществ, увеличению числа охраняемых зон. Поэтому понятна и другая тенденция — организовывать пункты захоронения в немногих наиболее подходящих местах и свозить туда РАО с ближайших объектов. Однако в этом случае остро встает вопрос о стоимости и безопасности таких перевозок. Судя по всему, современный уровень развития науки и техники еще не позволяет сделать окончательный выбор, к тому же универсальное решение вряд ли вообще возможно. Разные страны проводят разную политику в отношении РАО; многие из них в последние годы явно оттягивают выбор. Тем не менее совсем недавно ФРГ, Швеция и Великобритания приняли принципиальное решение прекратить захоронение отходов низкой активности в приповерхностные хранилища.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Каждая технология ставит своей задачей по возможности свести к минимуму активность и объем РАО. Помимо этого, для облегчения обращения с отходами во многих случаях необходимо сконцентрировать ненужную активность в наименьшем объеме, т. е. увеличить их удельную активность². Поэтому обращение с РАО включает несколько стадий: улавливание — концентрирование — упаковка — хранение — захоронение.

Наиболее редки газообразные РАО. К ним прежде всего относятся радионуклиды криптона и ксенона, образующиеся при делении ядерного топлива, а также газы, содержащие радиоактивные изотопы водорода (^3H) и углерода (^{14}C). Благородные газы, в первую очередь ^{85}Kr с периодом полураспада 10 лет, предполагают улавливать на предприятиях радио-

² Активность радиоактивного вещества измеряется числом распадов за единицу времени. Единице активности в системе СИ — беккерелю (Бк) — соответствует 1 распад в секунду. Часто используется также внесистемная единица кюри (Ки), равная $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. Удельной активностью называют активность, приходящуюся на единицу массы вещества. Она обычно измеряется в Бк/г.

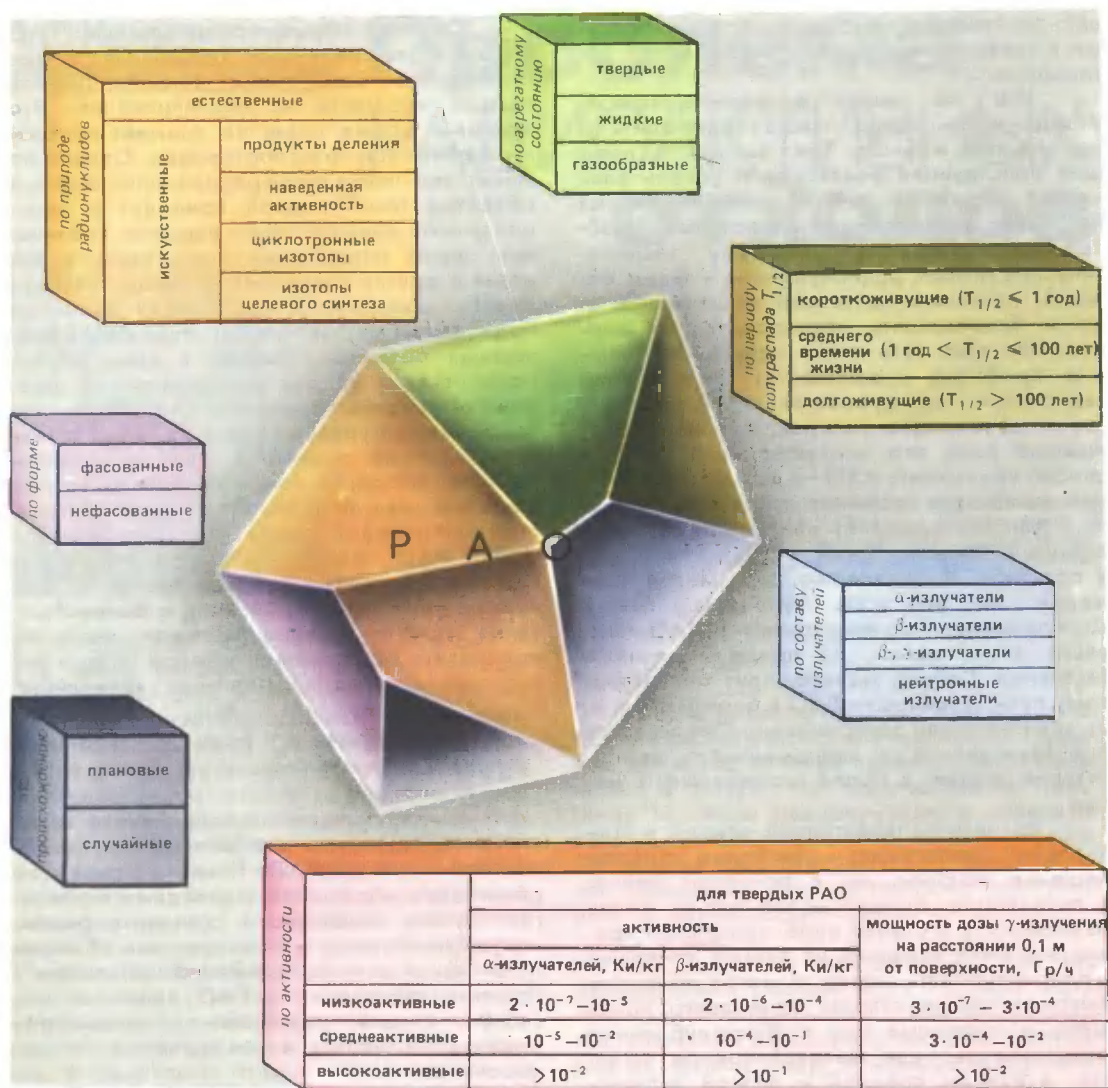


Схема деления радиоактивных отходов на типы по различным классификационным признакам.

химической промышленности. Из отходящих газов криптон и ксенон можно выделять с помощью криогенной техники и низкотемпературной адсорбции. Газы с тритием обычно окисляются до воды, а углекислый газ, в котором присутствует ^{14}C , химически связывается в карбонатах.

Жидкие РАО наиболее распространены. Они возникают на радиохимических предприятиях, АЭС, в исследовательских центрах и обычно хранятся в наземных или слабозаглубленных емкостях. Жидкие отходы высокой активности нужно охлаж-

дать, так как за счет энергии, выделяющейся при радиоактивном распаде, они могут заметно нагреваться. Кроме того, распад вызывает различные химические реакции (радиолиз), при этом высвобождаются так называемые радиолизные газы, которые необходимо улавливать. Предпринимались попытки закачивать жидкие РАО под землю, в водопоглощающие горизонты. Однако основной метод обращения с жидкими РАО — отверждение, для чего используется один из трех доведенных до промышленного применения способов. После выпаривания

отходы высокой активности внедряются в стеклообразную массу, а стеклянные гранулы для улучшения теплообмена часто включаются в металлическую матрицу. Разрабатываются и применяются методы отверждения РАО высокой и средней активности в виде бетонных блоков или пористых керамических материалов. Жидкие отходы средней и низкой активности после обезвреживания смешивают с битумом или хранят без дополнительной обработки.

Твердые РАО — та форма, которая непосредственно подлежит хранению или захоронению. Для этого такие отходы упаковывают в бочки, барабаны, короба. При перевозке РАО высокой активности упаковки для защиты персонала помещают в транспортные контейнеры.

Можно перечислить основные виды твердых отходов.

1. Отвержденные отходы АЭС средней активности, содержащие в основном ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{60}Co и встречающиеся в трех формах — обезвоженные РАО, битумные и бетонные блоки. Обезвоженные РАО (влажность до 20 %) транспортируют в виде порошка или таблеток. Битумные блоки наполняют сухими радиоактивными веществами на 40—50 %: они устойчивы при температуре до 350 °C, возгораются при 550 °C, саморазогревание происходит при тепловыделении свыше 3 Вт/м³. При транспортировке или в начальной стадии хранения, если температура превышает 110—120 °C, битумная смесь может расслаиваться, она также подвержена бактериальному разложению. При общей поглощенной дозе 10⁷ Гр битум набухает и выделяет взрывоопасные газы³. В отличие от битумных бетонные блоки негорючи, их радиационная стойкость более высока, основной продукт радиолиза — водород. Наполнение бетонных блоков сухими РАО достигает 40 %, а выщелачиваемость радионуклидов из бетона можно уменьшить добавлением жидкого стекла, вермикулита, цеолитов.

2. Остеклованные отходы АЭС и радиохимических предприятий, обладающие средней активностью. При отверждении 1 м³ жидких РАО в боросиликатном стекле образуются 0,2—0,3 м³ твердых отходов, что в 3,7 раза меньше, чем объем соответ-

ствующего битумного блока, и в 10 раз меньше, чем бетонного, а скорость выщелачивания радионуклидов соответственно падает в 100 и 10 000 раз. Стеклоблоки могут содержать все продукты деления, однако ко времени захоронения в них остаются преимущественно ^{90}Sr , ^{137}Cs и трансурановые элементы. Кроме боросиликатного и фосфатного стекол для связывания отходов используются и другие стеклообразные соединения с высокой температурой плавления — синрок, плавленый базальт, пористые керамики, керамики на основе металлов (керметы) и пр. Созданы образцы, моделирующие продолжительность хранения 1 млн лет. Особенно эффективны керметы — они имеют высокую теплопроводность, большую плотность, пониженную выщелачиваемость даже в рассолах, включают до 70 % сухих РАО, что выгодно отличает их от обычных стеклоблоков. Поэтому, включая РАО в керметы, их объем можно сократить в 100 раз.

3. Высокоактивные отходы с трансурановыми элементами от регенерации топлива АЭС, которые могут содержать также редкоземельные элементы. Основные радионуклиды — ^{241}Am , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{237}Np , ^{243}Cm , ^{244}Cm . Эти отходы превращают в окислы или включают в стеклоблоки. В окислах они интенсивно выделяют тепло (до 25 МВт/м³), а также гелий и кислород.

4. Отвержденные газообразные отходы, содержащие ^3H и ^{85}Kr . Тритий связывается в двух формах — в блоках из материала типа бетона или цеолитовых сорбентов с тритированной водой и в виде твердых органических полимеров. В первой форме радионуклиды трития более подвижны, однако в условиях, исключающих контакт с грунтовыми водами, даже такие блоки можно хранить в течение необходимого времени. ^{85}Kr захоранивают в трех формах: псевдотвердой под давлением 200 атм в коррозионно стойких баллонах, имплантированным в медную матрицу и в составе так называемых соединений включения (клатратов), в которых атомы криптона за счет межмолекулярных сил удерживаются внутри вещества с микроскопическими порами.

5. Корпуса выработавших ресурс реакторов, ускорителей, разные виды оборудования и другие негабаритные изделия с высокой и средней наведенной активностью. В некоторых случаях такие изделия удаётся разрезать и упаковать в стандартные контейнеры, но часто приходится выбирать и специальные способы их захоронения. Полагают, что бетонные обломки реакторных зданий и иные строительные материалы

³ Поглощенная доза — характеристика воздействия радиоактивного излучения на вещество, которая соответствует энергии, поглощенной единицей его массы. Единица поглощенной дозы в системе СИ — грэй (Гр) — равна дозе облучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия 1 Дж. Дозу, полученную за единицу времени, называют мощностью дозы.

составят 20—30 % общего объема РАО. К примеру, в ФРГ при демонтаже 12 АЭС масса твердых отходов составит 85 тыс. т, в том числе 820 т с удельной активностью более 10^7 Бк/г и 4029 т с активностью от $4 \cdot 10^2$ до 10^7 Бк/г.

6. Оработавшие ресурс радиоактивные источники на основе изотопов в блоках из различных веществ: ^{90}Sr (титанат), ^{137}Cs (боросиликатное стекло), ^{60}Co (металл), ^{210}Po — Ве.

О количестве твердых РАО дают представление следующие цифры. Полагают, что в реакторах АЭС общей электрической мощностью 1 ГВт за год образуется 300—500 м³ твердых отходов, а от переработки облученного топлива еще 10 м³ высокоактивных, 40 м³ среднеактивных и 130 м³ низкоактивных РАО. В Великобритании, обладающей высокоразвитой атомной промышленностью, к 2000 г. прогнозируются следующие суммарные объемы отходов: высокой активности — 5 тыс. м³, средней активности — 80 тыс. м³, низкой активности — 500 тыс. м³.

ВЫБОР ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ РАО

Многолетние исследования показали, что вмещающими РАО могут служить три типа геологических формаций: глины (аллювий), скальные породы (гранит, базальт, порфирит), каменная соль. Все они широко распространены, имеют достаточную площадь и толщину слоев. Глины более пригодны для устройства приповерхностных хранилищ или пунктов захоронения отходов средней активности со сравнительно короткоживущими радионуклидами, а скальные породы и каменная соль — для строительства глубинных пунктов захоронения высокоактивных РАО и РАО с долгоживущими радионуклидами. Наиболее перспективны соляные массивы, в них отсутствуют мигрирующие воды (иначе массив не мог бы существовать 200—400 млн лет), почти нет включений жидкости или газообразующих примесей, они пластичны, и нарушения структуры в них могут самозалечиваться, обладают высокой теплопроводностью, так что в них можно помещать РАО более высокой активности, чем в другие породы. Наконец, известно много разнообразных и недорогих способов создания выработок в каменной соли. Рассматривались и варианты помещения РАО на дно или в глубокие геологические разломы на дне океанов, где движение плит может увлечь их в глубину и надежно изолировать (для этого необхо-

димо исключить утечку РАО и их миграцию в океане сразу после захоронения).

В результате длительных исследований была выдвинута концепция системного подхода к захоронению радиоактивных отходов. Согласно этой концепции, главным барьером при окончательной изоляции РАО служит сама геологическая формация. Пункт захоронения должен быть окружен зоной отчуждения, в которой допускается появление радионуклидов, но за ее границами активность никогда не достигает опасного уровня. Посторонние объекты могут быть расположены не ближе, чем на расстоянии 3 радиусов зоны от пункта захоронения. На поверхности эта зона носит название санитарно-защитной, а под землей представляет собой отчужденный блок горного массива. Отчужденный блок необходимо изъять из сферы человеческой деятельности на период распада всех радионуклидов, поэтому он должен располагаться за пределами месторождений полезных ископаемых, а также вне зоны активного водообмена.

Проводимые при подготовке к захоронению отходов инженерные мероприятия должны обеспечить необходимый объем и плотность размещения РАО, действие систем безопасности и надзора, в том числе долгосрочный контроль за температурой, давлением и активностью в пункте захоронения и отчуждаемом блоке, а также за миграцией радиоактивных веществ по горному массиву. При выборе конкретных решений приходится учитывать не только геологические, тектонические и сейсмические особенности отчуждаемого массива или свойства РАО (их изотопный и химический состав, устойчивость матрицы и упаковки к химическим, термическим, радиационным и механическим воздействиям), но и отношение общественности к проблеме захоронения РАО. Все это в целом должно гарантировать надежную изоляцию РАО на весь период, когда они представляют собой опасность.

К сегодняшнему дню сформировались представления об основных типах хранилищ и пунктов захоронения.

В большинстве случаев хранилищами служат слабозаглубленные траншеи и бункеры в глинах и других аллювиальных отложениях; в них помещают сравнительно большие битумные и бетонные блоки, стеклоблоки средней активности. Если основными радионуклидами являются ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{60}Co , то удерживающих и фиксирующих свойств блока и грунта нередко достаточно, чтобы обеспечить малый радиус миграции радиоактивных веществ за время обез-

вреживания отходов. Вокруг бункера иногда создаются дополнительные барьеры в виде облицовки, засыпки сорбентом и т. п.

Для захоронения всех видов РАО используют не очень глубокие шахты и штольни, преимущественно в каменной соли. Средне- и низкоактивные отходы в подземные камеры можно засыпать навалом или складывать в бочках или канистрах, высокоактивные РАО опускают в скважины в основаниях камер и штреков. В некоторых случаях целесообразно создавать дополнительные барьеры.

Для неупорядоченного складирования любых отходов могут быть использованы полости среднего и большого объема (10—300 тыс. м³) в каменной соли, созданные в основном разрывом или ядерными взрывами. При хранении отходов низкой и средней активности температура у стенки полости не превышает геотермальную более чем на 50°, так что испарения воды и разложения минералов не происходит. Напротив, выделение тепла высокоактивными отходами приводит к плавлению соли и застыванию расплава, фиксирующего радионуклиды. Зону расплава можно создать и в скальных породах. Это используют в одном из проектов захоронения отходов в полости, созданной подземным ядерным взрывом мощностью 5 кт. Согласно этому проекту, носящему название «Плаушер», полость в течение 25 лет заполняется высокоактивным раствором. После испарения воды вследствие разогрева породы и раствора происходит расплавление породы; в конечном счете захораниваются твердые РАО, но процесс выпаривания жидких отходов переносится под землю.

Высокоактивные РАО помещают также в скважины в глинах, скальных породах и особенно в каменной соли, но соотношение удельной активности отходов и диаметра скважины должно быть таким, чтобы температура стенки оставалась недостаточной для разложения породы или бетона. Скважины в соли особенно удобны для захоронения долгоживущих РАО (к примеру, содержащих трансурановые элементы или ¹²⁹I). Подходящие формы — окислы и стеклоблоки. Контейнеры могут иметь сложную конструкцию и состоять из множества оболочек.

Как видим, хранилища и пункты захоронения — это геотехнологические системы, имеющие важные особенности. Прежде всего, горная порода, в которой они размещаются, должна характеризоваться низким содержанием вод и высокой водонепроницаемостью. Массивы скальных пород обычно

обводнены на большую глубину, разбиты тектоническими трещинами, нередко перемяты. Подземные воды в них могут иметь самый разнообразный характер — от воды в порах и застойных зонах до быстротекущих напорных вод. Поэтому подобрать участок, который удовлетворял бы требованиям по водонепроницаемости, непросто. Наименее водонепроницаемыми являются массивы каменной соли. Однако и в них существуют капиллярные каналы, заполненные раствором. Эти каналы медленно передвигаются к источнику тепла, т. е. мигрируют в сторону РАО, если последние обладают достаточно высоким энерговыделением. Еще одна особенность поведения воды при захоронении отходов в полостях внутри соляных массивов — ее испарение на теплом дне полости и конденсация на более холодном своде. В результате свод растворяется и полость постепенно перемещается вверх — «всплывает». Этот процесс весьма медленный, но оценки показывают, что за время существования пункта захоронения полость может всплыть на десятки метров.

Большое значение имеет совместимость конструкционных материалов, особенно наружного слоя упаковки РАО, с породой и грунтовой водой. В зависимости от материала контейнера, температуры, типа вод и породы нужно учитывать как выщелачивание стеклоблоков, бетонных, битумных и керамических блоков под действием вод, так и коррозию стальных или других оболочек. Так, в каменной соли в присутствии влаги коррозия металлических контейнеров идет достаточно интенсивно, что сводит на нет значение технических барьеров при захоронении РАО на длительный срок в соляных массивах. В породах типа базальта достаточно надежным считается захоронение остеклованных высокоактивных отходов в многослойном контейнере из меди или нержавеющей стали с добавками В, Cd, Cu, Ti, Pb.

Много данных получено о температурных условиях на границе между упаковкой РАО и стенкой скважины или полости. Можно выделить четыре температурных зоны, связанных с фазовыми превращениями отходов, конструкционных материалов и породы. Первая граница — температура кипения воды (~100 °C). При ее превышении резко увеличивается давление внутри упаковки или камеры, возникает проблема конденсации воды и очистки газов. Вторая соответствует освобождению воды, содержащейся в минералах (120—160 °C), что приводит к изменению структуры и свойств отходов и породы, к дополнительному

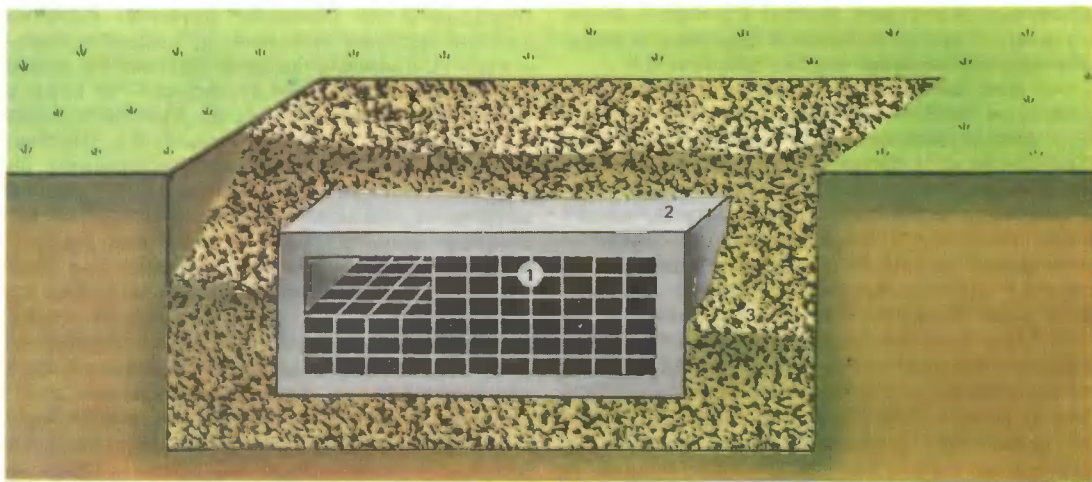


Схема приповерхностного хранилища РАО: 1 — контейнеры с отходами, 2 — облицовка ямы (бетон, слоистый железобетон и т. п.), 3 — засыпка (глина, цеолиты, металлические шлаки).

росту давления. Третья определяется разложением карбонатных минералов (доломита — при 850°C , кальцита — при 900°C) и дальнейшим повышением давления. Четвертая связана с плавлением самой породы (для соли — 801°C , гранита — 1300°C , базальта — 1000°C), а также с плавлением упаковки. Одни специалисты полагают, что температура на границе контейнер — горная порода не должна превышать $100\text{--}110^{\circ}\text{C}$, чтобы исключить образование пара и возникновение механических напряжений. Другие считают, что можно установить размер отчуждаемого блока в несколько сот метров, и тогда вне его цельность горного массива будет сохранена даже при сильном разогреве в пункте размещения РАО. Температура влияет не только на образование пара и газов или на поведение конструкций, значительное ее повышение по сравнению с геотермальной может привести к деформации породы и непредсказуемым последствиям типа образования трещин в массиве. Полагают, что РАО не должны создавать тепловую нагрузку, превышающую 100 кВт/га вблизи пункта захоронения. Например, при захоронении высокоактивных отходов в каменной соли на 1 га допустимо бурение не более 6 скважин глубиной 700 м и общим объемом $1,2\text{ тыс. м}^3$.

Расчеты показывают: если допустить повышение температуры породы на 50° , для захоронения высокоактивных отходов радиохимического завода производительностью 1500 т продукции в год за 25 лет в соли потребуются система скважин длиной 62 км , в граните — 106 км , в глинах — 408 км . Предварительная выдержка РАО в

наземном хранилище в течение 60 лет позволяет сократить длину скважин в $4\text{--}5$ раз. С другой стороны, при эксплуатации атомных станций образуются в основном среднеактивные РАО, и для их постоянного удаления с АЭС с 4 реакторами типа ВВЭР достаточно полости в каменной соли объемом $3 \times 10^4\text{ м}^3$, куда упаковки сбрасывают через скважину и пересыпают сорбентом.

Радиационные эффекты при захоронении даже высокоактивных отходов имеют, по-видимому, не столь большое значение, как часто полагают. Даже γ -излучение в основном поглощается в матрице РАО, лишь небольшая его доля проникает в окружающую породу на расстояние около метра. Влияние излучения ослабляется и тем, что в этих же пределах имеет место наибольшее термическое воздействие, вызывающее «отжиг» радиационных дефектов. Да и сама энергия излучения очень мала.

Таким образом, сейчас принята так называемая многобарьерная концепция, исходящая из необходимости создания ряда искусственных препятствий распространению радионуклидов в биосфере: химическое соединение, связывающее радионуклиды; матрица; охранный слой; контейнер; охранный сорбционный, закрепляющий засыпка; облицовка выработки; горный массив; гидроизоляция пункта захоронения и отчужденного блока. В принципе это оправданно, но следует учитывать, что обычные конструкционные материалы за времена геологического масштаба разрушаются, например бетон — за 100 лет , сталь — за $10\text{--}1000\text{ лет}$. Лишь некоторые дорогостоящие материалы типа золота, платины и, возмож-

но, свинца, меди, определенных видов стекло и плавленого камня считаются достаточно стойкими. Поэтому в последнее время все более укрепляются в мысли, что основным барьером на пути миграции радиоактивных веществ должна быть сама геологическая формация, которая при надлежащем выборе ее типа и участка гораздо стабильнее, чем любые искусственные барьеры. Такой подход позволит отказаться от дорогостоящих технических барьеров и ограничиться только мероприятиями, обеспечивающими безопасную транспортировку РАО и обращение с ними в период загрузки пункта захоронения.

Как видим, безопасность захоронения в длительном масштабе времени определяется прежде всего наличием носителя радионуклидов, в качестве которого реально может выступать только вода. Если к упаковкам с РАО нет доступа воды, то даже при разрушении конструкции и прямом контакте отходов с породой коэффициент диффузии радионуклидов в матрице и грунте столь мал (10^{-19} см²/с), что за миллионы лет они перемещаются всего на несколько метров. Контакт же с водными потоками приводит к выносу радионуклидов из матрицы в горный массив. Поэтому оценка безопасности хранилища сводится к расчету миграции радионуклидов в потоке грунтовых вод той или иной интенсивности с учетом вторичных процессов. Сейчас наиболее острой проблемой является не решение общих технических вопросов, а проектирование долговременных хранилищ для конкретных пунктов захоронения.

В 1982 г. на основе многочисленных экспериментальных исследований и теоретических расчетов МАГАТЭ представило предварительный свод положений по обращению с РАО АЭС, а в 1983 г. — критерии для подземного захоронения твердых радиоактивных отходов.

ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ И ПРОЕКТЫ

К настоящему времени во многих странах накоплен немалый опыт обоснования, проектирования, модельных и натурных испытаний хранилищ и пунктов захоронения. Согласно опубликованным данным, пока только Франция и ГДР осуществляют промышленное захоронение твердых РАО (Франция — в хранилище приповерхностного типа в глине на мысе Аг, ГДР — в соляной шахте Морслебен). Опытно-промышленное захоронение осуществлено в ФРГ в соляной шахте Ассе. Во всех случаях захоранивались отходы среднего и низ-

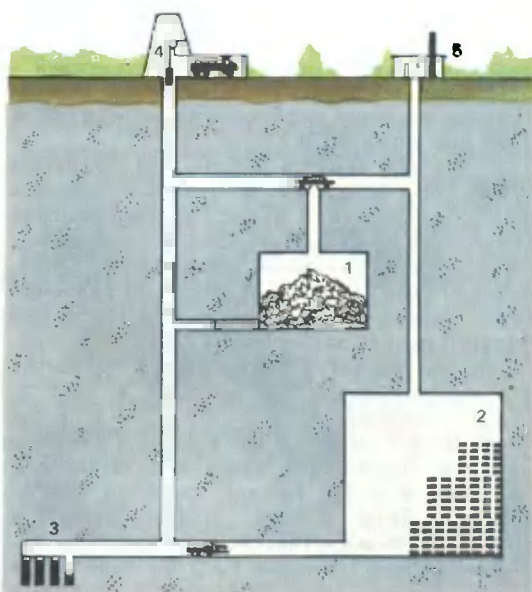
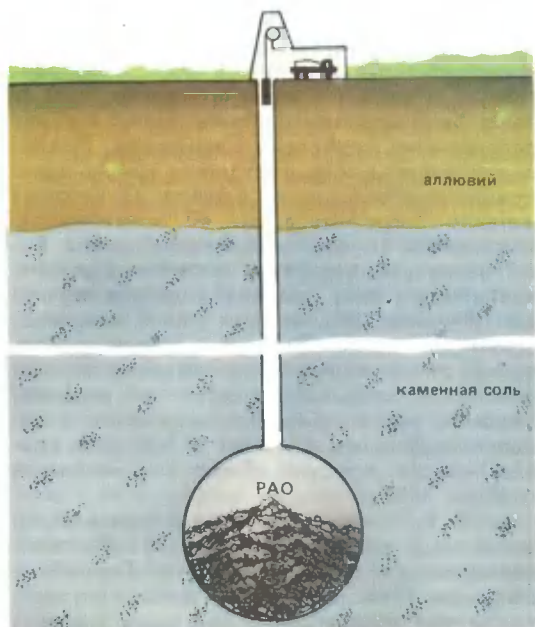


Схема хранилища РАО в каменной соли. В камере 1 осуществляется неупорядоченное складирование отходов, в камере 2 — упорядоченное; в скважине 3 помещают отходы высокой активности; 4 — загрузочное устройство; 5 — вентиляционная установка.

Схема пункта захоронения РАО в каменной соли. В полость, созданную подземным взрывом или размытием, неупорядоченно загружаются упаковки с отходами. После окончания загрузки полость герметизируется.



кого уровня активности. Остальные страны ввиду сложности вопроса ограничиваются исследованиями, полевыми экспериментами и опытными захоронениями, оставляя окончательное решение проблемы на период после 2000 или даже 2020 г.

В США ведутся работы над проектом WIPP, по которому в соляных залежах штата Нью-Мексико будет создано опытное хранилище на 40 контейнеров низкоактивных РАО с трансурановыми элементами. Опубликован план реализации закона об удалении РАО, предусматривающий выбор места для первого пункта захоронения глубокого залегания. Исследуются 9 возможных вариантов его расположения, из которых в 1989 г. будут отобраны 3, а в 1990 г. — 1. В их числе базальтовый массив в районе Ханфорда (штат Вашингтон), туфы испытательного полигона в штате Невада, соляные пласты в штатах Техас и Юта, соляные купола в штатах Луизиана и Миссисипи. Начато экспериментальное хранение РАО на полигоне в штате Невада. Здесь канистры с отходами размещаются на глубине 420 м в штрехах, являющихся продолжением пройденных при испытательных взрывах выработок. Исследования облегчаются опытом использования полигона, данными о строении горного массива и воздействии на него радиационных, тепловых и механических нагрузок. На бывшем ядерном полигоне Юкка-Флетс проводится эксперимент по хранению высокоактивных отходов в контейнерах из нержавеющей стали, помещенных в скважину глубиной 420 м. Оценивается целесообразность строительства долговременного приповерхностного хранилища MRS, высокоактивные отходы из которого после 2000 г. были бы извлечены и перемещены в пункт захоронения глубокого заложения. Предусматривается выбор мест для хранилищ высокоактивных отходов, в каждое из которых должно загружаться до 40 контейнеров. В дальнейшем эти контейнеры можно будет извлечь. Конструкция контейнера должна исключить утечку радионуклидов на период до 1000 лет. Обсуждается также использование для долговременного хранения контейнеров с низкоактивными остеклованными отходами больших полостей от взрывов. Наконец, рассматривается возможность создания хранилищ объемом 50 тыс. м³ в кристаллических породах вблизи р. Саванны на глубине 450 м.

В ФРГ предполагается строительство хранилища твердых РАО на 35 тыс. контейнеров в соляной шахте в Горлебене объемом 7 тыс. м³. Начаты работы по проходке над соляным куполом двух шахтных

стволов на глубину 950 м и туннеля на глубину 700 м между ними. Здесь введено в эксплуатацию временное централизованное хранилище для низкоактивных отходов размерами 89×61×5 м на 35 тыс. барабанов емкостью по 200 л. Разрабатывается также технология и оборудование для создания хранилища в отработанной железорудной шахте. Оно особенно удобно для РАО, образующихся при демонтаже АЭС, так как диаметр ствола составляет 7 м. Контейнеры с отходами предполагается укладывать в штабеля в галереях длиной 80 м и более на глубине 1000—1200 м. Общая вместимость — 67 тыс. м³ (что достаточно для захоронения отходов от демонтажа 12 АЭС), срок эксплуатации — несколько десятков лет.

Швеция изучает возможность создания рассчитанных на 40 лет хранилищ РАО в гранитах. Это промежуточное хранилище в Оскархамне и централизованное подземное хранилище в Форсмарке. Хранилище в Форсмарке строится на глубине 50—100 м ниже уровня моря, однако содержание трансурановых элементов в отходах будет ограничено, так как массив поднимается со скоростью 6 мм в год и через 1000 лет возможно попадание радионуклидов в воду. Пункт окончательного захоронения предполагается создать в кристаллических породах на глубине 500 м. РАО будут содержаться в медных контейнерах со стенками толщиной 200 мм (температура на их поверхности не должна превышать 100 °C). После заполнения отходами в 2060 г. пункт захоронения будет засыпан бентонитом и загерметизирован. Хранение рассчитано на 10 тыс. лет. Исследования ведутся в бывшей железорудной шахте в Стрипе.

В Великобритании выбран ряд площадок, пригодных для создания хранилищ, в том числе отработанная ангидритная шахта глубиной 300 м. К концу столетия предполагается захоронить в ней 55 тыс. м³ РАО в бетонных блоках. Для среднеактивных РАО с короткоживущими радионуклидами планируется создать хранилища в глинах в виде траншей глубиной 18,3 м с бетонной облицовкой толщиной 0,9 м. К концу 2000 г. объем забетонированных в них отходов составит 25 тыс. м³. Остеклованные высокоактивные отходы рассчитывают в течение 50 лет выдерживать в наземных хранилищах, а затем захоранивать в геологические формации. Отходы трансурановых элементов будут захораниваться на глубине 300 м.

Во Франции выбираются площадки для

строительства двух приповерхностных хранилищ. Сейчас РАО низкой и средней активности, содержащие только β -излучатели с периодом полураспада не более 30 лет, хранятся в контейнерах в неглубоких камерах траншейного хранилища Ла-Манш вместимостью 300 тыс. м³. В горах Форез намечено создать другое такое хранилище, там же на средней глубине могут захораниваться и α -активные отходы. Высокоактивные отходы в порядке эксперимента остекловываются в Маркуле; для их захоронения намечается создать опытное хранилище в гранитном массиве на глубине 500—1000 м.

В Японии строится завод по остекловыванию РАО в боросиликатную матрицу. Проект хранилища РАО с трансурановыми элементами пока не разработан. Центр по обработке и хранению высокоактивных РАО намечено создать на о. Хоккайдо. Отходы будут остекловываться и 30—50 лет храниться перед окончательным захоронением в геологические формации. Контейнеры с отвержденными низкоактивными отходами предполагают захоранивать в бетонированные траншеи, заброшенные шахты и другие подземные полости, заполняемые впоследствии песком, бетоном и грунтом. Бетонные обломки зданий реакторов и подобные низкоактивные материалы будут закапывать на месте.

В Аргентине изучается проект хранилища в граните на глубине более 600 м. Бельгия строит экспериментальное хранилище в глинах, его предполагает создать на глубине 250 м в виде системы галерей, из которых пробурены наклонные скважины для спуска канистр. Сами галереи также будут закладываться упаковками с отходами. В Швейцарии создано опытное хранилище Гримзель — туннели в кристаллической породе, где изучается воздействие тепла и радиации. Здесь же разрабатывается проект хранилища всех типов РАО в емкостях объемом 200 л — 300 тыс. шт. для низкоактивных и 100 тыс. шт. для среднеактивных отходов. Полагают, что этого достаточно для захоронения отходов, образовавшихся за 40 лет эксплуатации АЭС мощностью 6 ГВт. Емкости с отвержденными отходами будут забетонированы или забитумированы.

Таким образом, в последнее время многие страны останавливаются на концепции окончательного удаления РАО в глубокие геологические формации: глины (Бельгия, Италия, Франция, Япония), скальные породы (Аргентина, Великобритания, Индия, Испания, Канада, США, Финляндия, Франция, Швейцария, Швеция, Япония), каменную соль

(Испания, Нидерланды, США, Франция ФРГ). Ведется подготовка к использованию для захоронения РАО ряда шахт в Бельгии, США, ФРГ.

В сущности, прототипы пунктов захоронения глубокого заложения уже существуют в странах, производящих подземные ядерные взрывы. Так, в США на полигоне в штате Невада образовалось огромное поле радиоактивных зон от 450 взрывов, каждая из которых представляет собой вместилище высокоактивных РАО, в том числе нескольких килограммов ²³⁹Pu, ²³⁵U, ²³⁴U, ²³⁸U, ³H, захороненных в горном массиве без всяких технических барьеров. Если при этом Pu, Np, транслютоновые и редкоземельные элементы «остеклованы», включены в застывшую силикатную матрицу, то ³H, значительные доли ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs находятся в подвижной форме. Во многих районах мира в разных породах проводились исследовательские взрывы, зоны которых сейчас также представляют собой своеобразные пункты захоронения РАО. В таких зонах во многих случаях захоронено больше радиоактивных веществ, чем предполагается помещать в специализированные хранилища, и количество долгоживущих α -излучающих радионуклидов в них несравненно больше. Тем не менее пока нет данных, говорящих о том, что в столь неблагоприятных условиях имеет место утечка радионуклидов или, тем более, их выход на поверхность. Поэтому районы взрывов, уже имеющие развитую инфраструктуру, могут быть в дальнейшем использованы как пункты захоронения РАО. Важным является изучение миграции тяжелых элементов в природных условиях в геологическом масштабе времени. Эти работы ведутся на ряде урановых, ториевых и золотых рудников: Колар (Индия), Морро-де-Ферро (Бразилия), Аллигатор Ривер (Австралия), Сичар Лейк (Канада), Окло (Габон).

Все больше сторонников завоевывает подход, согласно которому на страну или группу стран создается один пункт захоронения. Такой подход экологически обоснован и позволяет выбрать действительно лучшее, а не паллиативное решение. Предоставить за плату земли для централизованного захоронения РАО (в основном в районе пустынь) в свое время выражали желание Судан, ЮАР, Намибия, Иран, Пакистан, хотя сейчас правительства некоторых стран и выступают против приема токсичных отходов из-за рубежа. Существует проект международного пункта хранения на базе шведского рудника. ФРГ и некоторые страны ЕЭС предполагают организовать в Горлебене (ФРГ) комбинированное

хранилище топлива для атомных станций и РАО. Изучается возможность создания в Австралии централизованного хранилища РАО из разных стран. Руководство МАГАТЭ намерено рассмотреть варианты строительства централизованных международных хранилищ ядерных отходов, чтобы сократить число площадок с РАО.

В заключение следует подчеркнуть, что решение проблемы РАО в сильнейшей степени зависит от «предыстории» их возникновения, т. е. от совершенства основных технологических процессов в атомной промышленности и энергетике, технологии концентрирования и отверждения жидких РАО, в частности от разделения основных радионуклидов, выделения и утилизации ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, трансплутониевых элементов, а также от технической политики в области использования изотопов.

Что же касается официальной позиции Советского Союза по проблеме РАО, то первый заместитель председателя Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР Б. А. Семенов в интервью «Литературной газете» выразил ее следующим образом:

«У нас имеется технология переработки радиоактивных отходов, но мы еще не приступили к широкой промышленной переработке ядерного топлива. Поэтому, как и в большинстве других стран, развивающих атомную энергетику, мы храним отработанное топливо в хранилищах при АЭС или в отдельно расположенных хранилищах, где это топливо и «выдерживается», значительно снижая свою радиоактивность. По мере ввода перерабатывающих мощностей ядерное топливо будет храниться и при заводах, на которых оно будет перерабатываться, а отходы — переводиться в компактные устойчивые формы и затем захораниваться»⁴.

От редакции. Тема этой статьи, достаточно специальная сама по себе, в последнее время вызывает большой интерес — в органах массовой информации развернулась дискуссия по проблемам развития атомной энергетики. И хотя почти каждая из таких проблем по-разному оценивается участниками дискуссии, именно по вопросу захоронения РАО взгляды сторонников и противников атомной энергетики расходятся наиболее резко. Во многих статьях, призывающих прекратить строительство АЭС, можно встретить утверждения о невозможности надежно изолировать радиоактивные от-

ходы. Как видим, у специалистов мнение иное: захоронение РАО — сложная, но все же разрешимая задача и для ее решения сейчас нужны даже не столько дополнительные научные исследования, сколько выбор способа, наиболее приемлемого с экономической точки зрения.

Примерно такая же поляризация заметна и во взглядах на демонтаж атомных электростанций, выработавших ресурс (внимание к этому вопросу привлекло недавнее решение о прекращении работы Армянской АЭС). От специалистов нередко можно услышать, что пути безопасного демонтажа пока не найдены, и каждая строящаяся АЭС грозит через несколько десятков лет превратиться в неразрешимую проблему. В действительности же это не совсем так. Сейчас в мире около 40 реакторных блоков прекратили работу и находятся в разных стадиях демонтажа. Четыре блока уже полностью обезврежены (как говорят, доведены до состояния «зеленой лужайки»), в одном из них — в Шиноне (Франция) — разместился атомный музей⁵. Таким образом, демонтаж АЭС — хотя пока и не рутинная, но вполне осуществляемая операция, и выбор конкретного ее варианта определяется в первую очередь опять-таки экономическими соображениями.

И все же противников развития атомной энергетики можно понять. Пожалуй, по любой другой программе, затрагивающей каждого жителя страны, в открытой печати можно найти значительно больше информации, чем по этой. Яркая иллюстрация: даже специалист вынужден говорить о позиции страны по проблеме захоронения РАО, ссылаясь на «Литературную газету», — другого, более подробного изложения этой позиции до сих пор нет. Странное в период гласности молчание ведомств, отвечающих за развитие атомной энергетики, невольно становится одной из причин, вызывающих у населения настороженное отношение к их деятельности. Впрочем, в самих ведомствах это уже понимают, и есть надежда, что вскоре диалог специалистов с общественностью станет более открытым. В частности, председатель Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР А. Н. Проценко пообещал нам, что в ближайшее время читатели «Природы» смогут ознакомиться со статьей, детально рассказывающей о принятых в нашей стране политике и принципах обращения с РАО.

⁴ Куда идут ядерные отходы // Лит. газета. 1988. 28 дек. С. 9.

⁵ Климов Ю. И. Снятие АЭС с эксплуатации — разрешимая проблема // Атомная техника за рубежом. 1988. № 4. С. 16—21.

МНОГОЛУЧЕВОЙ ЭХОЛОТ

Н. Н. Дмитриевский,
кандидат технических наук

Н. Ю. Терский
Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР
Москва

П О ДАННЫМ Международной гидрографической организации, в которую входят 47 стран, лишь 16 % площади Мирового океана обеспечено батиметрической информацией настолько, чтобы можно было построить детальные карты; для 62 % имеются лишь предположительные данные о рельефе дна¹. Между тем изучение закономерностей образования рельефа морского дна, его строения и развития — одно из наиболее важных и необходимых направлений исследования океана. Этим занимается морская геоморфология, главный инструмент которой — эхолоты. Появление этих акустических средств дистанционного зондирования наряду с разработкой прецизионных систем навигации позволило создать довольно достоверные генеральные батиметрические карты океана. Эта работа ведется в рамках международного проекта ГЕБКО (Генеральная батиметрическая карта океана), в котором участвует и наша



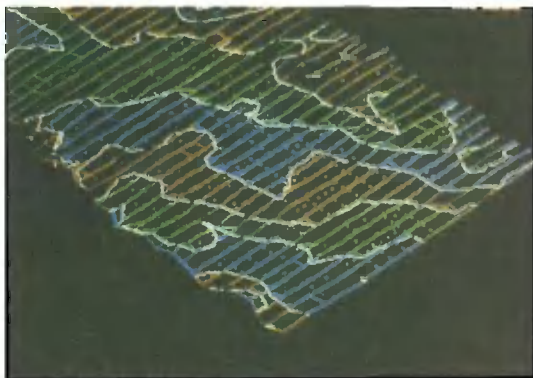
Рабочее место оператора ECHOS-XD, эхолотная лаборатория.

страна; последнее, пятое, издание такой карты относится к 1982 г., сейчас готовится шестое.

К батиметрическим данным требования все ужесточаются, что вызвало необходимость разработки более эффективных и точных систем — многолучевых эхолотов, постепенно вытесняющих традиционные од-

нолучевые. Идея многолучевого эхолота довольно проста: одновременно эхолотирование по нескольким лучам, которые составляют разные углы с вертикалью в плоскости, перпендикулярной оси судна, и образуют своеобразный «веер». Это позволяет получать не отдельный профиль рельефа, как при одно-

¹ Хаммак Дж. // Картография. 1988. № 3. С. 194—205.



Изображение рельефа дна, полученное на мониторе многолучевого эхолота (цветом показана шкала глубин).

лучевом эхолотировании, а целую полосу съемки, ширина которой зависит от глубины, поскольку угол между лучами остается постоянным. При создании таких эхолотов пришлось столкнуться с рядом проблем, связанных с резко возросшим объемом информации и необходимостью применять вместо обычных аналоговых самописцев микропроцессорную технику и магнитные носители.

Применение систем уже первого поколения, типа Sea Beam, поистине вызвало революцию в наших представлениях о рельефе дна океана. Батиметрические карты, созданные до этого по отдельным галсам и редким полигонам, снятым однолучевыми эхолотами, давали весьма скудную информацию. Исходя из нее, структура, например, срединно-океанических хребтов казалась довольно простой. Многолучевые эхолоты открыли подвижные рифты, зоны перекрытия осей спрединга, фрагментацию срединно-океанических хребтов, детальную структуру их осевых зон, вулканических центров, подводных каньонов, трансформных границ литосферных плит и их троственных сочленений и т. д.

Сегодня многолучевые эхолоты установлены на борту не более двух десятков научно-исследовательских судов разных стран, в том числе советских — «Академик Борис Петров», «Академик Николай Стрехов» и др. В 1988 г. совершило первый рейс научно-исследовательское судно нашего института «Академик Сергей Вавилов», построенное в Финляндии на верфи фирмы Холминг. Оно оборудовано многолучевым эхолотом уже второго поколения — ECHOS-XD. По сравнению со своими предшественниками он обладает большим количеством лучей (60 вместо 15—16) и большей шириной полосы съемки (вдвое больше глубины, т. е. 200 % вместо 70—75 %). Для него разработана эффективная система сбора, обработки и отображения получаемой батиметрической информации, которая делает эхолот multifunctionalным. Оператор может получать одновременно: цветное

двух- или трехмерное графическое изображение рельефа полосы съемки на экране одного из видеомониторов; продольный профиль дна по центральному лучу — линии движения судна (как при обычном эхолотировании) на экране другого видеомонитора; батиметрическую карту полосы съемки в реальном времени (т. е. по мере движения судна по курсу) при любом выбранном масштабе и сечении изобат. Кроме того, имеется возможность накапливать батиметрическую информацию на магнитных лентах или дисках для последующей обработки и построения батиметрических карт по нескольким галсам или целому полигону. С магнитной ленты можно воспроизвести работу самого эхолота для его тестирования или, например, в учебных целях.

Приемная и излучающая антенны эхолота смонтированы в центральной части днища судна. Излучаемые пучки лучей отражаются от дна и поступают в приемный тракт, а затем в блок обработки, где вычисляются значения глубин по каждому лучу с учетом навигационной информации, данных о крене, дифференте судна и стратификации водной толщи. Полный одиночный цикл эхолотирования по всем 60 лучам занимает 20—60 с в зависимости от глубины океана, т. е. времени прохождения акустического сигнала и его обработки. Вычисленные данные обрабатываются рядом процессоров для каждого канала вывода информации — на мониторы, магнитофон, печатающее устройство, графопостроитель. Эхолот двухчастотный: для мелководья предусмотрена частота 45 кГц, для глубоководных районов — 15 кГц.

На средних океанских глубинах для съемки рельефа полигона 20×20 морских миль требуется всего 12—15 ч при 5—6 галсах. При большом числе лучей картина подводного рельефа оказывается весьма детальной, поскольку при такой съемке точки измерения глубин располагаются через 100—150 м, и, как показывают исследования, можно распознать и провести классификацию форм рельефа с относительной высотой 50—

100 м и размерами 300—500 м. Естественно, при меньших глубинах размеры различаемых деталей уменьшаются. Так, в вершинных частях подводных гор можно изучать детали строения конусов, поверхностей гайотов с кольцевыми рифами, подводных долин на шельфе и т. п.

Во время специальных методических исследований в Центральной Атлантике установлено, что наиболее информативна для геоморфологов и удобна для оперативного контроля за работой системы форма представления данных в виде трехмерного изображения полосы съемки в аксонометрической проекции. Его параметры (сечение скользящей шкалы глубин, масштаб) можно задавать в зависимости от характера исследуемого рельефа. При этом, по мере поступления батиметрических данных, к предыдущему изображению добавляется новый участок и оно сменяется в соответствии с выбранным ориентацией осей координат. Опытному геоморфологу такое изображение позволяет при изучении как районов со сложным сильно расчлененным рельефом (например, активных участков трансформных разломов), так и почти плоских абиссальных равнин определять происхождение отдельных форм, намечать положение уточняющих и контрольных галсов для достижения возможно большей детальности и корректности съемки.

Оснащение научно-исследовательских судов подобной аппаратурой открывает новые горизонты в столь интересной и малоизученной области, как мезорельеф морского дна, и позволяет впервые вплотную подойти к проблеме его классификации, которая давно разрабатывается в геоморфологии суши. Кроме того, использование современных носителей информации позволяет приступить к составлению баз данных по детально исследованным полигонам и даже отдельным галсам, что совершенно необходимо при выборе перспективных участков для геологических работ, глубоководного бурения, погружений подводных обитаемых аппаратов.

ХОЛОДНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ!

В. А. ЧУЯНОВ,

доктор физико-математических наук
Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова
Москва

23 марта 1989 г. в Университете штата Юта (Солт-Лейк-Сити) состоялась пресс-конференция, на которой С. Понс (S. Pons; химический факультет университета) и М. Флейшман (M. Fleischmann; Саутгемптонский университет, Великобритания) заявили, что сумели осуществить ядерный синтез при комнатной температуре! На следующий день все мировые средства массовой информации поспешно разнесли весть о том, что сбылась вековая мечта человечества о неистощимом и чистом источнике энергии.

Что же на самом деле наблюдалось при электролизе тяжелой воды?

Суммируя сообщения из разных источников, можно сделать следующие выводы. Осуществляя электролиз тяжелой воды (с добавками LiOD) в электролизере с палладиевым катодом, платиновым электродом и источником (аккумулятором), американский и английский электрохимики обнаружили характерные черты реакции синтеза между ядрами дейтерия — выделение тепла, образование трития и генерацию нейтронов.

Утверждается, что выделение тепла, дополнительного к вложенному в электролизер, увеличивалось пропорционально плотности тока на поверхности палладиевого электрода и объему электрода. При плотности тока порядка $0,5 \text{ А/см}^2$ выделение тепла в объеме электрода достигало 10 Вт/см^3 и наблюдалось в течение 120 ч, составив 4 МДж/см^3 . Столь значительное выделение энергии (примерно 100 эВ на ядро) трудно объяснить химическими процессами,

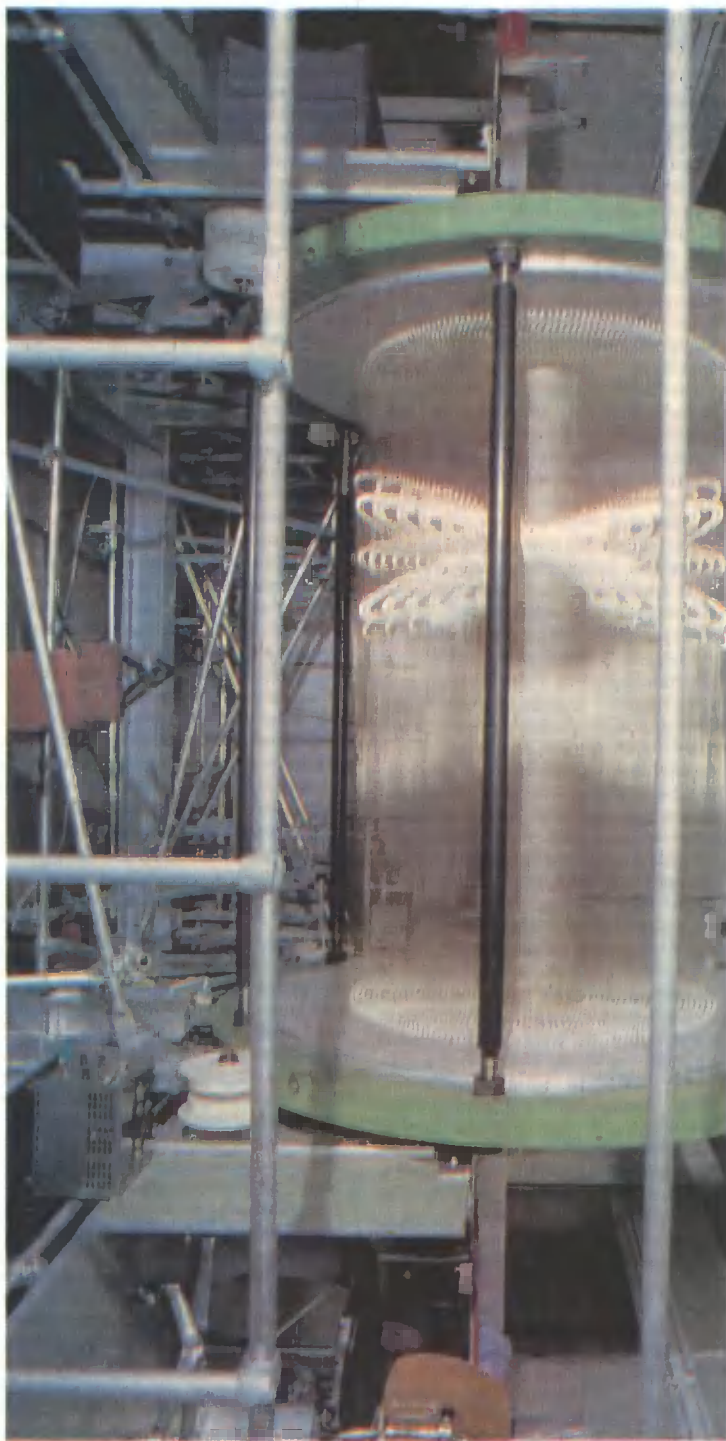
так как единственным расходным материалом, который регулярно восполняли, была тяжелая вода. По отношению к полному энерговыделению в электролизере при максимальной плотности тока и массивных электродах (их диаметр 0,4 см, длина 10 см) дополнительное энерговыделение достигало 50 %. В одном из экспериментов даже произошло разрушение электрода.

Если бы наблюдаемое выделение тепла определялось D-D-синтезом, оно сопровождалось бы излучением $10^{12}-10^{13}$ нейтронов/с. Однако зарегистрировано было примерно 10^4 актов синтеза/с в 1 см^3 материала электрода. Одновременно наблюдалось и γ -излучение с энергией 2,5 МэВ, которое было идентифицировано как результат реакции нейтронов, рожденных в D-D-синтезе, с протонами. Как известно, D-D-реакция имеет две ветви: нейтронную, в которой образуются нейтрон и ядро ^3He , и безнейтронную — с образованием трития и протона. В обычных условиях они идут с равной вероятностью. Однако внешние условия (например, поляризация ядер) могут подавлять одну из ветвей. В данном случае, однако, этого, по-видимому, не произошло. Проведенные измерения свидетельствуют, что при электролизе действительно происходит выделение трития, но оно крайне мало и соответствует скорости выделения нейтронов. Таким образом, при насыщении палладия дейтерием в его кристаллической решетке наблюдается слияние ядер дейтерия. Выделение же тепла, по-видимому, связано с совершенно другими процессами, природа которых пока непонятна. (Наблюдение нейтронов в аналогичных условиях вскоре было подтверждено рядом других сообщений, которые, однако, не позволяют сделать окончательный вывод.)

Что касается нейтронного излучения, то хотя оно и чрезвычайно слабо — в миллиарды раз слабее, чем требуется для практических применений, — тем не менее это замечательное открытие (если, конечно, сообщения подтвердятся) и оно требует рационального объяснения. Вообще говоря, холодный ядерный синтез давно известен. Два ядра дейтерия можно свести вместе, не передавая им значительной энергии, если нейтрализовать положительный заряд одного из ядер отрицательно заряженной частицей, расположенной достаточно близко к ядру. В атоме отрицательно заряженной частицы тем ближе к ядру, чем она тяжелее. Электроны, компенсируя заряд ядер, позволяют двум дейтронам сблизиться в молекуле дейтерия до расстояний примерно $0,074 \text{ нм}$. При этом вероятность синтеза ядер из-за туннельного перехода под кулоновским потенциальным барьером близка к нулю. Мю-мезоны, получаемые в ядерных реакциях на ускорителях, в 206 раз тяжелее электронов и образуют с дейтронами мезомолекулы, в которых расстояние между ядрами уменьшается настолько, что синтез происходит практически мгновенно. При электролизе водород выделяется вблизи палладиевого электрода и почти полностью растворяется в нем. В таких металлах, как палладий или титан, на каждое ядро металла может приходиться ядро дейтерия. Дейтроны в металле находятся в окружении электронов, которые компенсируют их электрический заряд. Как известно, эффективная масса электронов в кристаллической решетке может отличаться от массы свободных электронов. Если она окажется в несколько раз больше, этого может быть достаточно для объяснения очень редких актов синтеза, наблюдаемых в описанных выше условиях.

Именно так объясняют наблюдение нейтронов при электролизе тяжелой воды в электролизере с титановыми или палладиевыми электродами ученые под руководством из-

¹ Лишь через две недели появился текст статьи, направленный в научный журнал. Fleischmann M., Pons S. // Submitted to «J. Electroanal. Chem.», March 11, 1989, final form March 20, 1989.



Дрейфовая камера установки ARGUS. Благодаря специальной подсветке видны 30 тыс. проволок камеры, натянутых под различными углами для восстановления картины распада.

В конце 1982 г. на электрон-позитронном кольце DORIS входящем в состав ускорительного центра DESY (Гамбург, ФРГ), был введен в действие универсальный детектор ARGUS, на котором работают исследователи из разных стран, в том числе физики из Института теоретической и экспериментальной физики в Москве, принимавшие участие и в его создании. В отличие от мифологического стоического Аргуса, приставленного сторожить прекрасную царевну Ио, у детектора ARGUS 1748 «глаз» — сцинтилляционных счетчиков, регистрирующих фотоны. В комплекс установки входит также дрейфовая камера, состоящая из 6 тыс. детекторов для регистрации электронов, образованных при прохождении заряженных частиц через камеру. Вся экспериментальная информация обрабатывается компьютерами, которые одновременно следят за дееспособностью установки. Не удивительно поэтому, что в коллаборацию ARGUS входят около 70 человек.

«Природа» уже сообщала об экспериментальных исследованиях на установке ARGUS. На этот раз мы представляем одно из самых интересных достижений группы — наблюдение взаимных превращений B^0 и $\bar{B}^0$ -мезонов, в состав которых входит b-кварк, названный прелестным. Это исследование — пожалуй, самое яркое за последние несколько лет — занимает ключевое место среди недавних экспериментов, позволивших осуществить замкнутую самосогласованную проверку так называемой стандартной модели, под которой в настоящее время понимают теорию электрослабых взаимодействий и квантовую хромодинамику, т. е. теорию сильных взаимодействий. Пока вся совокупность экспериментальных данных надежно охраняет основные представления и выводы стандартной модели. Однако вряд ли так будет продолжаться вечно, ибо и эта модель не лишена недостатков. Поэтому рано или поздно какой-нибудь новый Гермес похитит у нее монополию на истину. Остается только гадать, где и когда будет установлена справедливость более совершенной теории.

А. И. Голутвин
Ю. М. Зайцев

Осцилляции в системе „прелестных“ мезонов



Андрей Игоревич Голутвин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной физики. Занимается экспериментальными исследованиями нейтрино тяжелых кварков и лептонов. Член коллаборации ARGUS.



Юрий Михайлович Зайцев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Область научных интересов — экспериментальная физика элементарных частиц. Член коллаборации ARGUS.

СОЗДАННАЯ П. Дираком в 1931 г. теория электрона предсказывала, что в природе для каждой частицы должна существовать античастица с той же массой, но противоположным знаком некоторых «врожденных» характеристик, называемых квантовыми числами. Хорошо известный пример такого квантового числа — электрический заряд. Именно знаком электрического заряда отличается электрон от своей античастицы — позитрона, открытие которого в космических лучах блестяще подтвердило теорию Дирака. Затем в опытах были обнаружены антинейтрон, антипротон и прочие античастицы, изучены особенности их рождения и взаимодействий. Выяснилось, в частности, что могут происходить периодические взаимные превращения частиц и античастиц, названные осцилляциями. Это чисто квантовое явление, однако пояснить его можно с помощью простой механической аналогии.

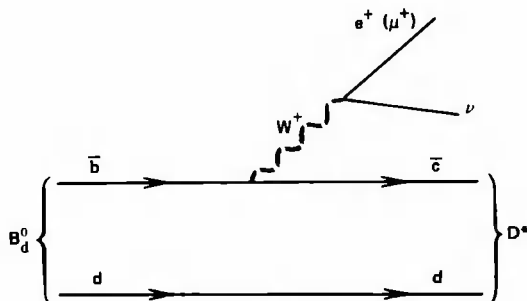
Представим себе систему из двух маятников. Пока они независимы, колебания одного никак не влияют на колебания другого. В отсутствие трения каждый из маятников может колебаться бесконечно долго. Теперь предположим, что между маятниками возникла слабая связь, например их соединили мягкой пружиной. Тогда в системе возникнут биения. Один из маятников, раскачиваясь, заставит через пружину колебаться и другой. Амплитуда колебаний

первого маятника со временем будет уменьшаться, а второго — нарастать, до тех пор, пока первый маятник не остановится, а второй не раскачается полностью. Затем процесс пойдет в обратную сторону. Подобные «биения» можно представить себе и в пучке частиц, где часть из них по мере распространения в пространстве превращается в античастицы и т. д.

Следует сразу оговориться, что осцилляции частиц в микромире — явление не столь рядовое, как биения в механических системах. Если квантовое число, отличающее частицу от античастицы, строго сохраняется, то взаимные превращения таких частиц невозможны ни при каких обстоятельствах. Например, электрический заряд остается неизменным и в слабых, и в сильных, и в электромагнитных взаимодействиях. Это означает, что осцилляции возможны только в системах электрически нейтральных частиц, таких как мезоны K^0 , D^0 , B_d^0 и B_s^0 и их античастицы¹.

Перечисленные мезоны состоят из кварков разных поколений: $K^0 = \bar{s}d$, $D^0 = c\bar{u}$, $B_d^0 = \bar{u}d$, $B_s^0 = \bar{u}s$ (напомним, что s-кварк принято называть странным, c-кварк — очарованным, а b-кварк — прелестным). Эти части-

¹ Мы не упоминаем здесь фотон, π^0 - и η^0 -мезоны, поскольку они относятся к истинно нейтральным частицам, совпадающим полностью со своими античастицами.



Кварковая диаграмма, описывающая распад B_d^0 -мезона на лептон e^+ (или μ^+), нейтрино ν и очарованный мезон D^+ . Согласно современным представлениям, в распаде участвует тяжелый антикварк $\bar{b}$, а d -кварк выполняет роль «наблюдателя». Реакция происходит в два этапа. На первом b -кварк превращается в c -кварк с испусканием виртуального W -бозона. Затем W -бозон распадается на лептон и нейтрино, а c -кварк, объединяясь с d -кварком, образует один из очарованных мезонов, вероятнее всего D^+ .

цы отличаются от своих античастиц знаком кваркового «аромата» — квантового числа, принимающего значение $+1$, если в состав мезона входит кварк, и -1 , если — антикварк. Так, мезоны K^0 и $\bar{K}^0$ имеют разную странность, D^0 и $\bar{D}^0$ — разное очарование, B^0 и $\bar{B}^0$ — разную прелесть (названия кварковых «ароматов» произошли от названий соответствующих кварков).

Кварковый аромат — это квантовое число, которое сохраняется только в сильных и электромагнитных взаимодействиях. В процессах же, протекающих за счет слабого взаимодействия, кварковый аромат может меняться, причем сразу на две единицы. Это означает, что возможны переходы $K^0 \rightarrow \bar{K}^0$, $D^0 \rightarrow \bar{D}^0$, $B^0 \rightarrow \bar{B}^0$ и наоборот. Впервые этот интересный квантовомеханический эффект был зафиксирован в системе нейтральных $K^0\bar{K}^0$ -мезонов В. Фитчем в 1965 г.

Современная физика очень многим обязана системе K^0 -мезонов (каонов). Именно в этой системе и пока нигде более наблюдалось несохранение комбинированной пространственно-зарядовой (СР) четности — явление, имеющее богатые теоретические следствия как для физики микромира, так и для Вселенной в целом. Для объяснения свойств нейтральных каонов был придуман новый, очарованный, кварк, — обнаружение которого в составе $1/\psi$ -частицы буквально открыло новую эру в физике элементарных частиц. Поэтому неудивительно, что немалые надежды физики связывают с исследованием системы тяжелых партнеров каонов — нейтральными B^0 -мезонами.

В 1980 г. на электрон-позитронном накопительном кольце CESR (Корнелльский университет, США) был открыт четвертый член семейства Υ -мезонов — новая частица $\Upsilon(4S)$, при распаде которой рождаются пары $B_d^0\bar{B}_d^0$ или B^+B^- . Эти мезоны называют еще довольно игриво частицами с открытой прелестью, поскольку прелестный b -кварк не скомпенсирован в них антикварком. Это самые тяжелые из известных мезонов, распадающихся за счет слабого взаимодействия: масса мезона B_d^0 равна примерно 5280 МэВ, B^0 еще тяжелее (для сравнения: масса пиона — самого легкого из мезонов — всего 135 МэВ).

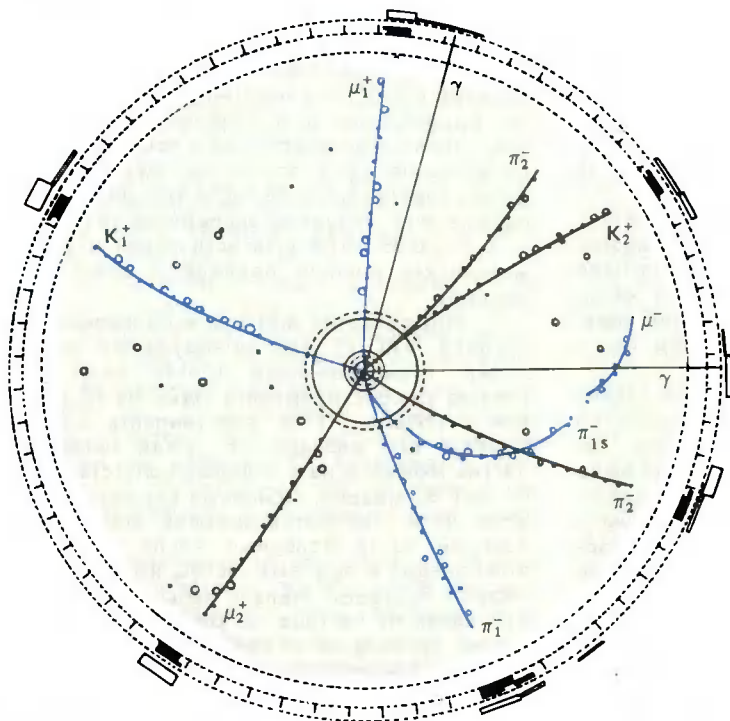
По своему составу B^0 -мезоны отличаются от нейтральных каонов лишь заменой странного кварка s второго поколения на прелестный b -кварк третьего поколения. Прелесть, как и странность, в слабых взаимодействиях не сохраняется, поэтому в системе $B^0\bar{B}^0$ следовало ожидать осцилляций. Правда, предсказываемая теоретиками малая частота этих осцилляций, казалось, не оставляла надежды на их обнаружение в современном эксперименте. Однако весной 1987 г. группа ARGUS сообщила о наблюдении эффекта, величина которого примерно в 100 раз выше теоретических предсказаний.

Такой неожиданный результат наряду с самим фактом регистрации осцилляций не мог не вызвать живейшего интереса у физиков, тем более что исследования $B^0\bar{B}^0$ -осцилляций связаны с широким спектром вопросов — от определения параметров стандартной модели до выяснения границ ее применимости². И действительно, за прошедшие два года доклады, посвященные исследованиям $B^0 + \bar{B}^0$, становились «гвоздем программы» многих конференций по физике элементарных частиц.

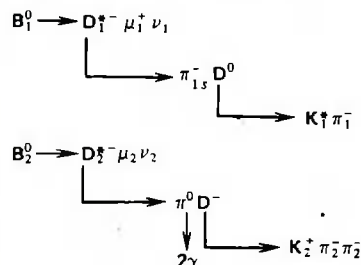
Как же наблюдают осцилляции в системе $B^0\bar{B}^0$ -мезонов? Для этого прежде всего эти мезоны надо получить. Делают это уже ставшим привычным способом — сталкивая встречные пучки электронов и позитронов или протонов и антипротонов. И здесь надо упомянуть эксперименты двух типов.

1. Рождение B -мезонов при высоких энергиях — значительно превышающих порог их образования. При этом получается смесь различных прелестных мезонов и барионов, содержащих b -кварк, и других более легких частиц. Точно рассчитать число рожденных в этом случае B^0 -мезонов пока не

² О разнообразных теоретических следствиях открытия см. в номере: Уралцев Н. Г., Хозе В. А. ARGUS на страже стандартной модели фундаментальных взаимодействий. С. 69.



Зарегистрированный на установке ARGUS распад $\Upsilon(4S) \rightarrow B_d^0 \bar{B}_d^0 \rightarrow B_d^0 B_d^0$, возникающий в результате осцилляций $\bar{B}_d^0 \rightarrow B_d^0$. В этом «золотом» событии с помощью ЭВМ удалось полностью восстановить полную картину распадов обоих B_d^0 -мезонов (обозначим их B_d^0 и $\bar{B}_d^0$) по каналам:



удаётся. Поэтому приходится делать различные предположения о механизме их рождения, что существенно затрудняет анализ результатов таких экспериментов. Кроме того, малое время жизни B -мезонов не позволяет пока восстанавливать вершины их распадов. Если ещё учесть, что при распаде самих B -мезонов рождается в среднем около 8 частиц, то становится очевидно, что восстановление полной картины события в таких экспериментах — задача необыкновенно трудная. Возможно, её решение облегчится с ростом энергии ускорителей и совершенствованием детекторов, регистрирующих пробог короткоживущих частиц (время жизни B -мезонов около 10^{-12} с). О таких экспериментах можно говорить только в контексте будущих планов, а пока для поиска $B^0 \bar{B}^0$ -осцилляций при высоких энергиях применяются лишь косвенные методы, на которых мы ещё остановимся.

2. Рождение пар $B_d^0 \bar{B}_d^0$ при распаде $\Upsilon(4S)$ -мезона, масса которого чуть выше порога образования B -мезонов. В соответствии с современными представлениями, $\Upsilon(4S)$ в 100 % случаев распадается на пары $B^0 \bar{B}^0$ и $B^+ B^-$, так что, проводя измерения в области его образования, можно получить чистый сигнал от распада $B\bar{B}$ -пар.

Все основные результаты по исследованию B_d^0 - и B^+ -мезонов получены именно

в экспериментах такого типа, выполненных преимущественно на установках, находящихся в разных концах света, — ARGUS в ФРГ и CLEO в США. Обе они работают на электрон-позитронных накопительных кольцах в области энергии образования $\Upsilon(4S)$ -мезона, и основные принципы их работы во многом аналогичны. Неудивительно, что физики, проводящие исследования на этих установках, постоянно конкурируют друг с другом и, сравнивая результаты, полученные в разных экспериментах, могут судить об их истинности.

Итак, в десятую годовщину открытия прелестного кварка в составе Υ -частицы экспериментаторы группы ARGUS объявили, что им удалось обнаружить осцилляции в системе $B_d^0 \bar{B}_d^0$. К такому выводу их привел анализ около 90 тыс. распадов $\Upsilon(4S)$ -мезона. Поскольку в результате распада этой частицы B_d^0 -мезон всегда рождается вместе со своей античастицей $\bar{B}_d^0$, процессы $B_d^0 \rightarrow \bar{B}_d^0$ приводят к образованию в конечном состоянии пары $\bar{B}_d^0 \bar{B}_d^0$ и, соответственно, $\bar{B}_d^0 \rightarrow B_d^0$ — к образованию пары $B_d^0 B_d^0$. Поиск таких пар и является основной задачей эксперимента. В эксперименте ARGUS он проводился различными способами. Причем по каждому из направлений работа велась совершенно независимо, а промежуточные результаты держались в секрете. Сопоставлены были лишь

окончательные величины — к счастью, они совпали.

Первый способ — традиционный, использовавшийся ранее всеми группами, которые пытались найти $B^0\bar{B}^0$ -осцилляции. Заключается он в поиске пар быстрых лептонов с зарядом одного знака, возникающих в распаде $\Upsilon(4S)$ -мезонов. Дело в том, что знак заряда лептона однозначно «метит» В-мезон. В распаде B_d^0 -мезона всегда возникает положительный лептон, а в распаде $\bar{B}_d^0$ -мезона — отрицательный. Поэтому обнаружение событий с парой одновременно заряженных лептонов свидетельствовало бы о $B_d^0\bar{B}_d^0$ -осцилляциях.

Эта, на первый взгляд, простая задача имела на пути своего решения множество «подводных камней» и потребовала напряженной и кропотливой работы. Надо было научиться надежно идентифицировать электроны и мюоны на фоне огромного количества других заряженных частиц — π - и K -мезонов, протонов и антипротонов. Для такой идентификации была использована вся информация, которую можно получить на установке: время пролета частиц от точки взаимодействия до регистрирующих счетчиков, которое существенно зависит от массы частиц; энергия, потерянная частицей на ионизацию газа в центральном регистрирующем приборе — дрейфовой камере; энергия и форма сигнала в электромагнитном калориметре; сигналы в специальных мюонных камерах. Используемые в совокупности, эти данные позволяют резко уменьшить количество неправильно идентифицированных частиц.

Следующая серьезная проблема — фоны от других сопутствующих реакций. Очевидно, что не только В-мезоны могут служить источниками электронов и мюонов. Лептоны могут возникать и в распадах очарованных частиц, которые рождаются при распаде В-мезонов. Однако энергия таких лептонов в среднем значительно меньше, чем энергия прямых лептонов от распадов В-мезонов. Отбирая события с «быстрыми» лептонами, например с импульсом больше 1,4 ГэВ/с, можно заметно снизить этот фон, а небольшую оставшуюся часть его учесть с помощью расчетов по методу Монте-Карло с использованием теоретических моделей для описания распадов В-мезонов.

После учета и вычитания всех возможных фонов удалось выделить 25 событий с двумя лептонами одинакового знака, что свидетельствовало о существовании $B_d^0\bar{B}_d^0$ -осцилляций. Когда осцилляций нет (или когда B^0 -мезон успевает проосциллировать два раза, что гораздо менее вероятно),

возникают лептоны с зарядами разного знака. В эксперименте ARGUS было зарегистрировано 270 таких событий. Сравнивая число событий с участием лептонных пар с зарядами одинакового и противоположного знаков, можно охарактеризовать осцилляции количественно (для этого мы будем здесь использовать наиболее часто употребляемый параметр r)³. Результат эксперимента ARGUS: $r = 0,22 \pm 0,09 \pm 0,04$ (статистическая и систематическая ошибки приведены здесь раздельно).

Идея второго метода, использованного группой ARGUS для обнаружения осцилляций, тоже довольно проста. Если полностью реконструировать один из B_d^0 -мезонов в событии, т. е. восстановить полную картину его распада, то среди остальных частиц можно искать «следы» сопутствующего ему B_d^0 -мезона. Основной сложностью на этом пути становится высокий фон, возникающий из-за большого числа случайных комбинаций вторичных частиц, которые имитируют B_d^0 -мезон. Нельзя забывать и о том, что какая-то частица от распада B_d^0 -мезона может «ускользнуть» незарегистрированной, и тогда восстановить полную картину события не удастся. Существует также утечка некоторых нейтральных частиц, которые установка регистрирует с невысокой эффективностью (например, нейтроны или долгоживущие K_L^0 -мезоны). Все это существенно снижает возможность реконструкции B_d^0 -мезонов. Тем не менее группе ARGUS, которая использовала более 20 различных каналов распада, удалось полностью восстановить 70 B_d^0 -мезонов. Кроме того, был разработан элегантный метод частичной реконструкции распада B_d^0 на нейтрино, лептон и очарованный мезон D^* , который имеет довольно большую относительную вероятность, что увеличило число восстановленных B_d^0 -мезонов до 300.

Используя события, в которых один из двух B_d^0 -мезонов, рожденных в распаде $\Upsilon(4S)$, восстановлен, а второй идентифицирован по знаку заряда быстрого лептона, удалось обнаружить 5 событий с $B_d^0\bar{B}_d^0$ - или $\bar{B}_d^0B_d^0$ -парами и 23 события, где мезон B_d^0 присутствовал вместе со своей античастицей. После вычитания фона, который при таком методе заметно меньше, чем в предыдущем случае, был определен параметр осцилляций: $r = 0,2 \pm 0,12$.

³ Смысл параметра r обсуждается в статье Н. Г. Уральцева и В. А. Хозе (см. сноску 2). Здесь же нам важны его численные значения для сравнения результатов различных экспериментов.

Описанные методы не полностью независимы: 2 события с одноименно заряженными лептонами и 11 событий с разноименно заряженными из первого метода присутствуют и во втором. После учета этой корреляции было получено значение $r=0,21\pm 0,08$. Для оценки надежности результата была вычислена вероятность флуктуации фона, которая оказалась ничтожно малой — меньше $6 \cdot 10^{-5}$.

И, наконец, удалось обнаружить истине «золотое» событие. Это первое и пока единственное зарегистрированное событие с двумя полностью восстановленными B_d^0 -мезонами, которое однозначно указывает на существование превращений $B_d^0 \rightarrow B_s^0$. Состоит оно из довольно сложной цепочки распадов, но его характерной особенностью является наличие двух лептонов и двух К-мезонов с зарядами одинакового знака.

Обнаружение такого события в сочетании с результатами первых двух методов можно рассматривать как надежное подтверждение осцилляций B_d^0 -мезонов с параметром, существенно превосходящим ожидаемое значение $r \simeq 0,001$. (Такое предсказание было естественным следствием существовавших представлений об относительно легком t -кварке. Результат эксперимента ARGUS совместим со стандартной моделью, если только масса t -кварка не меньше 50 ГэВ.) Неожиданно большое значение r , получен-

ное в экспериментах группы ARGUS⁴, имеет еще целый ряд важных теоретических следствий (о которых подробно рассказано в следующей статье). Среди них — новые возможности наблюдения нарушения СР-инвариантности, на сей раз в распадах В-мезонов. Механизм этого явления, открытого, как уже отмечалось, более 20 лет назад в распадах К-мезонов, до сих пор остается непонятным. В то же время мир, в котором мы живем, возможно и существует только потому, что есть очень малое нарушение СР-инвариантности в слабых взаимодействиях. Не случайно исследование $B^0\bar{B}^0$ -осцилляций рассматривается как одно из перспективных направлений программы исследований практически на всех строящихся и проектируемых ускорителях частиц высоких энергий. Сейчас появились даже проекты e^+e^- -коллайдеров нового поколения — «В-фабрик», специально ориентированных на исследование В-мезонов.

Многообразие физических задач и экспериментальных программ в этой очень интересной области физики должно в недалеком будущем привести к появлению новых важных результатов.

⁴ На 28-й Международной конференции по физике высоких энергий в августе 1988 г. в Мюнхене группа CLEO подтвердила результаты группы ARGUS по $B^0\bar{B}^0$ -осцилляциям. Подробнее об экспериментальной ситуации в этой области исследований см.: Голутвин А. И., Данилов М. В., Зайцев Ю. М. // Усп. физ. наук. 1989. Т. 157 Вып. 3. С. 369—388.

Н. Г. Уральцев
В. А. Хозе

ARGUS на страже стандартной модели фундаментальных взаимодействий

СОВРЕМЕННЫЙ этап развития физики элементарных частиц не случайно называют празднеством стандартной модели (СМ) электрослабых и сильных взаимодействий. Дело в том, что СМ исключительно успешно описывает громадную совокупность данных в широком диапазоне энергий от 1 эВ до 10^{11} эВ, а какие-либо результаты, вступающие с ней в серьезное противоречие, на сегодня отсутствуют. Мы обсудим здесь роль эксперимента ARGUS по наблюдению больших $B^0\bar{B}^0$ -осцилляций в про-

верке современных представлений о физике микромира и, в частности, наиболее важные его следствия для стандартной модели.

СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: УСПЕХИ И ТРУДНОСТИ

В минимальном по количеству «персонажей» сценарии СМ участвуют 3 поколения кварков ($u, d; c, s; t, b$) и лептонов ($\nu_e, e^-; \nu_\mu, \mu^-; \nu_\tau, \tau^-$), фотон γ , $W^\pm$ - и Z^0 -бозоны — переносчики слабого взаимо-



Николай Геннадьевич Уральцев, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова. Область научных интересов — теория электрослабых взаимодействий элементарных частиц.



Валерий Анатольевич Хозе, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник того же института. Занимается исследованиями в области физики высоких энергий и тяжелых кварков и лептонов.

действия, 8 глюонов КХД, осуществляющие взаимодействия между кварками, и хиггсовский бозон H , взаимодействие с которым приводит, в частности, к появлению массы у бозонов $W^\pm$ и Z^0 .

Из «персонажей» этого сценария за занавесом пока остались лишь t -кварк (от англ. top — верх или truth — истина) и хиггсовский бозон H . То, что t -кварк пока не опознан современным опытом, не рассматривается как серьезное препятствие на пути триумфального шествия СМ. В рамках ее минимального варианта это объясняется просто большой величиной его массы¹: $m_t \simeq 100$ ГэВ. Как будет рассказано ниже, решающую роль в выяснении масштаба массы t -кварка сыграл именно анализ эксперимента ARGUS.

Судьба t -кварка считается преддetermined, и его открытие должно состояться в ближайшее время, скорее всего на протон-антипротонном коллайдере в Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми в США. Как и в случае с $W^\pm$ - и Z^0 -бозонами, прямое наблюдение t -кварка продолжит (или завершит) замечательный этап в развитии физики частиц, названный эрой запланированных открытий.

В отличие от t -кварка обнаружение хиггсовских бозонов H позволило бы осуществить проверку самих основ современных теоретических конструкций. Эти объекты, являющиеся пока лишь порождением теоретической мысли, предназначены для решения глубоких внутренних проблем физики частиц. В настоящее время на их поиски направлены усилия многих экспериментаторов

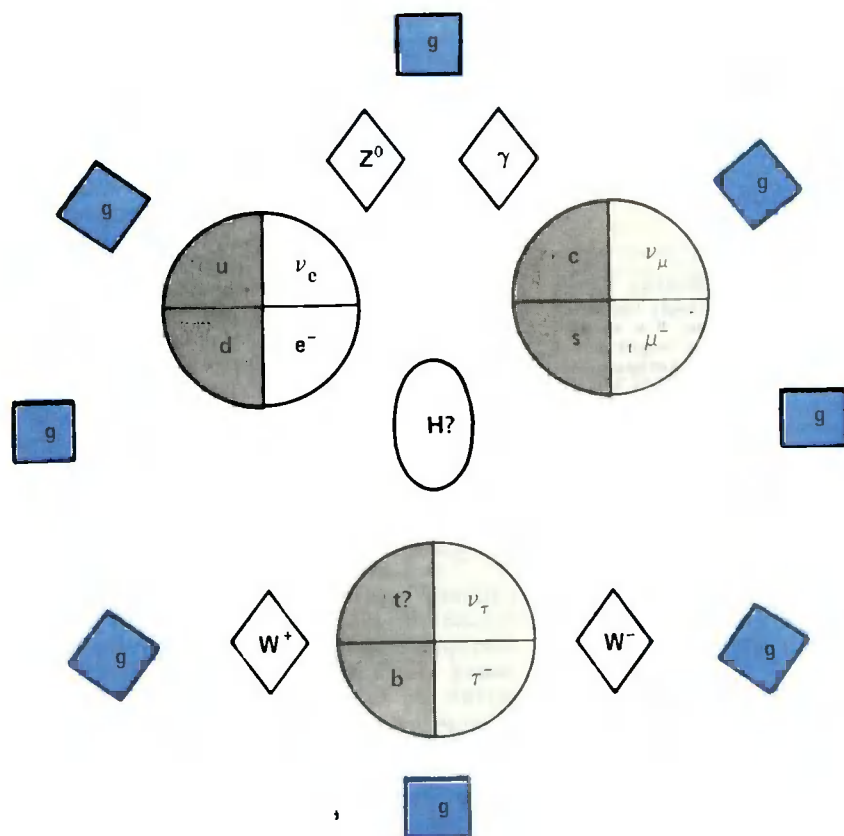
и теоретиков. Однако не случайно эти частицы получили название «неуловимых». Согласно современной теории, вероятности их рождения, как правило, должны быть весьма малы, а их идентификация в опыте выглядит весьма деликатной экспериментальной задачей. Стратегия поиска H -бозонов в значительной мере определяется их массой m_H . Поэтому даже косвенная информация о ее масштабе может оказаться весьма существенной для скорейшего решения судьбы этих загадочных объектов.

Остановимся, наконец, на другом фундаментальном аспекте СМ, который также является одним из наиболее критических мест для проверки современных теоретических концепций. Речь идет об объяснении феномена нарушения в процессах слабого взаимодействия симметрии относительно операции комбинированной инверсии CP (совкупности операций пространственной инверсии P и зарядового сопряжения C).

Открытое еще в 1964 г. при исследовании системы нейтральных K^0 -мезонов и более нигде до сих пор не наблюдавшееся нарушение CP -четности принципиально важно для физики микромира². Прежде всего, именно оно приводит к возможности абсолютного отличия частиц от античастиц. С другой стороны, это накладывает существенные ограничения на возможную структуру самой СМ. Оказывается, чтобы CP -четность нарушалась, в природе должно существовать не менее шести различных типов (ароматов) кварков. Таким образом, СМ предлагает определенный проект ответа на фундаментальный вопрос о происхождении поко-

¹ Здесь используется так называемая естественная система единиц $\hbar=c=1$ ($\hbar$ — постоянная Планка, c — скорость света), в которой массы и импульсы частиц, а также время и расстояние измеряются в энергетических единицах. Так, масса протона $m_p=0,938$ ГэВ, а $1/m_p=2,1 \cdot 10^{-14}$ см=0,21 ферми= $7 \cdot 10^{-25}$ с.

² О несохранении CP -четности и свойствах нейтральных K^0 -мезонов см., напр.: Смондырев М. А. Лауреаты Нобелевской премии 1980 года. По физике — Дж. Кронин и В. Фитч // Природа. 1981. № 1, С. 98—99.



«Персонажи» минимального сценария стандартной модели: фундаментальные фермионы (кварки и лептоны), переносчики взаимодействия между ними (фотон γ промехуточные бозоны $W^\pm$, глюоны g) и хиггсовский бозон H . Фундаментальные фермионы естественным образом разбиваются на три группы, называемые поколениями. В каждое поколение входят по два кварка и два лептона. Частицы первого поколения — самые легкие.

Пока неясно, зачем нужны более тяжелые и короткоживущие частицы других поколений и сколько всего поколений кварков и лептонов существует в природе (предполагают, что не более четырех).

лений — объединении известных кварков и лептонов в три семейства. Однако надо быть слишком ортодоксальным приверженцем СМ (для чего она явно недостаточно совершенна), чтобы считать вопрос о природе несохранения СР-четности уже решенным. Объективно сегодня можно лишь утверждать, что данные современного опыта не противоречат простейшему варианту объяснения этого явления в СМ. Существенный прогресс в понимании физики СР-несохранения связывается не только с более тонкими измерениями параметров K^0 , $\bar{K}^0$, но и с исследованием других объектов, в первую очередь B^0 -мезонов.

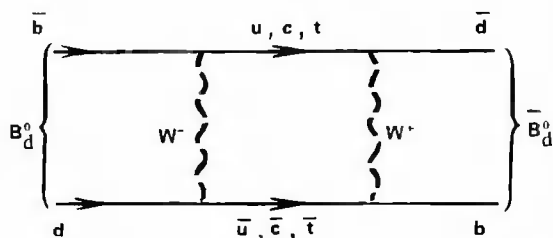
Несмотря на ошеломляющие успехи СМ, теоретики не отказались от попыток «усыпить бдительность» охраняющего ее современного эксперимента и, тем самым, раскрепостить теорию. Дело в том, что СМ имеет серьезные внутренние, чисто теоретические, проблемы и не может рассматриваться как завершенная теория. Для решения судьбы СМ мало одних обольстительных речей о ее возможных красивых

обобщениях³. Поскольку все они так или иначе приводят к введению новых фундаментальных объектов, решающее слово остается за опытом. Обнаружение таких объектов или каких-либо отклонений от предсказаний СМ стало бы важнейшей вехой на пути развития физики частиц, так как они могли бы сыграть роль нити Ариадны, которая выведет ее из застойного состояния внешнего благополучия на качественно новый уровень.

СМЕШИВАНИЕ B^0 -МЕЗОНОВ (ОСЦИЛЛЯЦИИ ПРЕЛЕСТИ)

Нейтральные B^0 -мезоны обладают важным преимуществом по сравнению с K^0 -мезонами: их теоретическое описание во многом более «чистое», поскольку все процессы с их участием разыгрываются на расстояниях, значительно меньших, чем для системы $K^0\bar{K}^0$.

³ Об одном из них — суперсимметрии, см., напр.: Захаров В. И. Удваивается ли число элементарных частиц // Природа. 1988. № 3. С. 4—15.



Кварковая диаграмма, описывающая переход $B_d^0 \rightarrow B_s^0$ в результате слабых взаимодействий между кварками b и d , из которых составлен B_d^0 -мезон. Эти кварки, обмениваясь виртуальным W^- -бозоном, переходят в виртуальные пары кварков ub , cs или tb , которые аналогичным способом, через обмен W^+ -бозоном, рекомбинируют в пару bd , образующую B_s^0 -мезон. Как следует из теории, если бы массы u -, c - и t -кварков были одинаковы, то вклады в вероятность процесса диаграмм с виртуальными кварками $u(\bar{u})$, $c(\bar{c})$ и $t(\bar{t})$ взаимно компенсировались бы. При увеличении массы t -кварка компенсация нарушается все сильнее.

При этом обычно доставляющие много хлопот эффекты КХД лучше контролируются, и предсказательная сила теории несравненно выше.

Смешивание нейтральных мезонов относится к процессам, происходящим за счет слабого взаимодействия и давно привлекающим пристальное внимание. Речь идет о явлениях, в которых происходит взаимное превращение друг в друга кварков (или лептонов), изменяющее их аромат, но сохраняющее электрический заряд, например $s \leftrightarrow d$, $b \leftrightarrow d$, $\mu \leftrightarrow e$,... Дело в том, что в СМ такие превращения не могут реализовываться в элементарном акте слабого взаимодействия. Особенно интересны кварковые переходы с изменением какого-либо аромата сразу на две единицы, скажем $sd \leftrightarrow dz$. В СМ они могут происходить лишь в результате двух последовательных актов слабого взаимодействия. Обычно амплитуды этих процессов⁴ фантастически малы, так как пропорциональны G_F^2 — квадрату константы слабого взаимодействия ($G_F \cdot m_p^2 \simeq 10^{-5}$); до последнего времени такие переходы наблюдались только в системе нейтральных K^0 -мезонов, где происходят осцилляции странности.

Исключительное положение переходы такого типа занимают из-за гигантского усиления эффекта. В квантовой механике для

состояний системы, имеющих близкие значения энергии, даже малое возмущение может привести к кардинальной перестройке (смешиванию) этих состояний. Массы же (энергии покоя) частицы и античастицы всегда одинаковы, а это означает, что исходные (невозмущенные) энергетические уровни квантовой системы, описывающие K^0 - и $\bar{K}^0$ -мезоны, строго совпадают. Поэтому здесь реализуется замечательная ситуация, когда величина эффекта смешивания нейтральных мезонов определяется отношением амплитуды перехода $K^0 \rightarrow K^0$ (т. е. ΔM_K) к вероятности распада мезонов Γ . K -мезоны распадаются за счет слабого взаимодействия, и, следовательно, Γ пропорциональна G_F^2 . Таким образом, параметр смешивания $\chi = \Delta M_K / \Gamma$ оказывается порядка единицы, а значит, именно осцилляции типа $K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$, $B^0 \leftrightarrow \bar{B}^0$ дают уникальную возможность наблюдать так называемые сверхслабые явления, проявляющиеся лишь при двукратном учете слабого взаимодействия.

Остается только поражаться тому, насколько чувствительным инструментом оказываются осцилляции ароматов. Так, для B -мезонов с массой $M_B \simeq 5$ ГэВ (что превышает массу атома гелия) эксперимент ARGUS позволил определить разность масс ΔM_B появляющихся в результате переходов $B^0 \leftrightarrow \bar{B}^0$ частиц B_1 и B_2 (аналогов K_L и K_S), величина которой фантастически мала: $\Delta M_B = (3,9 \pm 0,9) \cdot 10^{-4}$ эВ! Такая точность в определении масс частиц недостижима ни в каких опытах, кроме осцилляционных.

Переходы $K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$, $B^0 \leftrightarrow \bar{B}^0$ идут через различные промежуточные состояния и с неизбежностью включают в себя виртуальные процессы, происходящие на расстояниях, много меньших размеров самих частиц. Экспериментальное исследование процессов этого типа может дать ценную информацию, например, о новых фундаментальных объектах еще до их прямого наблюдения. В первую очередь это относится к масштабу масс виртуальных частиц, возникающих на промежуточной стадии перехода частица — античастица.

Хорошо известно, сколь плодотворным для физики частиц оказалось исследование системы нейтральных K^0 -мезонов. Так, например, измерения вероятностей переходов $K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$ указали на неизбежность перестройки структуры слабого взаимодействия кварков и на существование нового персонажа СМ — очарованного s -кварка. Более того, сопоставление наблюдаемой разницы масс долгоживущего (K_L) и короткоживущего (K_S) мезонов с теорией позволило правильно оценить масштаб массы s -кварка. Все это сильно стимулировало экспериментальный поиск но-

⁴ В квантовой теории поля вся информация о процессе содержится в его амплитуде. Вероятность процесса пропорциональна квадрату модуля его амплитуды. Амплитуда перехода между нейтральными мезонами, скажем $K^0 \rightarrow \bar{K}^0$, определяется разностью масс ΔM_K физически наблюдаемых частиц K_S - и K_L -мезонов, являющихся определенными «смесью» K^0 и $\bar{K}^0$.

вых кварков и способствовало быстрому их утверждению в правах гражданства.

Изучение переходов $K^0 \rightarrow \bar{K}^0$ можно рассматривать в качестве прямого предшественника результатов ARGUS, поскольку в обоих случаях наблюдались осцилляции ароматов кварков — странности или прелести. Измерение параметра смешивания B^0 -мезонов⁵ позволило в рамках СМ оценить наиболее вероятное значение массы ненаблюдавшегося пока t -кварка⁶: $m_t \approx 100\text{--}150$ ГэВ. Итак, ожидается что t -кварк окажется очень тяжелым, близким по массе атомам таких химических элементов, как серебро или олово!

Кратко поясним, почему смешивание $B^0\bar{B}^0$ столь чувствительно к массе t -кварка. Дело в том, что рассчитанный теоретически вклад промежуточных пар кварков $u\bar{u}$, $s\bar{s}$ в амплитуду $B^0 \rightarrow \bar{B}^0$ пропорционален квадрату максимальной энергии виртуальных состояний $E_{\max}^2$. Поскольку при расчетах необходимо суммировать вклады в амплитуду всех промежуточных состояний со сколь угодно большими энергиями, то $E_{\max} \rightarrow \infty$. При этом вероятность процесса оказалась бы бесконечно большой, что абсолютно неприемлемо. Эта бесконечность компенсируется в СМ как раз за счет t -кварков: $E_{\max}^2 \approx m_t^2$. В результате суммарная амплитуда оказывается конечной, но быстро растет с m_t . Используя уже известные параметры СМ и реалистические расчеты в рамках КХД, для параметра смешивания можно получить оценку $x_B \sim 0,5$ ($m_t/80$ ГэВ)². Именно поэтому обнаружение значительного $B^0\bar{B}^0$ -смешивания убеждает нас в том, что t -кварк должен быть весьма тяжелым — порядка 100 ГэВ.

Существенно влияет тяжелый t -кварк и на другие распады B -мезонов, происходящие за счет кварковых переходов без изменения заряда: $B \rightarrow K^* + \gamma$, $B \rightarrow K + e^+e^- (\mu^+\mu^-)$, $B \rightarrow K + \nu\bar{\nu}$ и т. д. Эти процессы возникают также только при учете двух последовательных взаимодействий, одно из которых может быть электромагнитным. И здесь роль виртуальных t -кварков, образующихся в промежуточном состоянии, оказывается очень важной: например, при изменении m_t от 40 до 120 ГэВ вероятности распадов увеличиваются более чем в 10 раз. Так, относительная доля распадов $B \rightarrow K^* + \gamma$ при $m_t = 100$ ГэВ должна составлять около 10^{-4} .

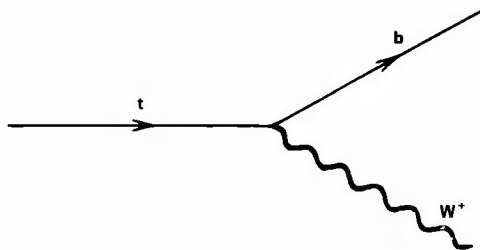


Диаграмма распада t -кварка на кварк b и реальный W -бозон. Такой процесс возможен только в случае, если масса t -кварка превышает массу W -бозона [82 ГэВ].

Достигнутые на сегодня точности эксперимента приближаются к этим оценкам и позволяют надеяться на обнаружение и исследование таких процессов в ближайшем будущем. Особенно интригующим представляется распад $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu\bar{\nu}$. Хотя обычно в распадах странных частиц участвуют кварки лишь первых двух поколений, здесь большая масса t -кварка компенсирует малость его связи с легкими кварками. В результате вклад t -кварка почти в 10 раз увеличивает вероятность этого процесса ($3 \cdot 10^{-10}$ при $m_t \approx 100$ ГэВ). Это соответствует уровню чувствительности современных экспериментов.

СУДЬБА СВЕРХТЯЖЕЛОГО t -КВАРКА

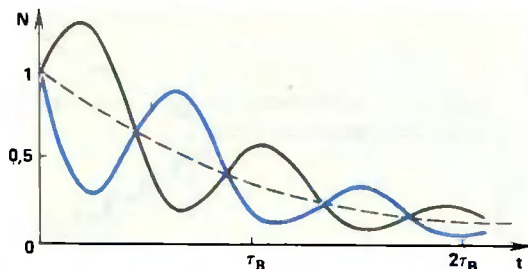
Если измерения действительно подтвердят, что масса кварка превышает массу W -бозона ($m_W \approx 82$ ГэВ), то физические свойства t -кварка будут резко отличаться от свойств его предшественников — очарованного кварка s и прелестного кварка b . Прежде всего, при $m_t > m_W$ t -кварк быстро распадается с образованием реального W -бозона, и, согласно простым расчетам, его время жизни $\tau_t = 1/\Gamma_t$ (Γ_t — вероятность распада) исключительно мало:

$$\tau_t \approx (M_W/m_t)^3 \tau_{\text{адр}},$$

где $\tau_{\text{адр}} \approx 3,3 \cdot 10^{-24}$ с — характерное время распада адронных резонансов, например $\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$. Уже при $\tau_t \sim \tau_{\text{адр}}$ возникает необычная ситуация: распад, инициированный слабым взаимодействием, протекает столь же быстро, как и распад за счет сильного взаимодействия. С увеличением же m_t картина становится еще более интересной. Так, при $m_t \gtrsim 100$ ГэВ величина τ_t оказывается меньше характерного времени формирования адронов, состоящих из тяжелых (t) и легких (q) кварков, — системы $t\bar{q}$, tqq . Тем самым, при таких массах t -кварка теряется представление об адроне, содержащем

⁵ Величина x_B связана с параметром r , используемым в статье А. И. Голутвина и Ю. Н. Зайцева, соотношением $r = x_B^2/(2 + x_B^2)$.

⁶ Из анализа всех существующих опытов 60 ГэВ $\leq m_t \leq 180$ ГэВ (см., напр.: Уралцев Н. Г., Хозе В. А. // Ядерная физика. 1988. Т. 47. С. 1687—1692.



Осцилляции числа распадов N нейтральных B_s^0 -мезонов в зависимости от времени, появляющиеся из-за нарушения СР-инвариантности. Черная кривая соответствует распадам $B_s^0 \rightarrow \pi^0 + K_S$, цветная — распадам $B_s^0 \rightarrow \pi^0 + K_L$, пунктиром изображена кривая для обычного экспоненциального закона распада (T_B — время жизни B_s^0 -мезона в его системе покоя). Расчеты проведены для значения параметра смешивания $x_B = 7$, предсказываемого на основе результата ARGUS.

t -кварк, а сам кварк рождается и гибнет как свободный.

Особенно интересен вопрос о формировании t -кваркониев — кварковых «атомов», состоящих из t и $\bar{t}$, преемников знаменитых ψ - и Υ -мезонов. При своих гигантских массах (близких к массам атомов свинца или урана) эта система во многих отношениях оказывается ближе к атому позитрония, чем системы $c\bar{c}$ и $b\bar{b}$. Дело в том, что взаимодействие между t - и $\bar{t}$ -кварками происходит на расстояниях

$$\tau_T \sim (\alpha_s m_t)^{-1} \simeq 2 \cdot 10^{-15} \text{ см},$$

много меньших, чем среднее расстояние между кварками в адронах (10^{-13} см). В этой формуле α_s есть хромодинамический аналог постоянной тонкой структуры $\alpha \simeq 1/137$ (на расстояниях порядка τ_T величина $\alpha_s \simeq 0,15$). Итак, характерный размер $t\bar{t}$ -системы определяется радиусом боровской орбиты позитрония, где масса электрона заменена на m_t , а α — на α_s . Принципиальное отличие от более легких кварковых систем — $c\bar{c}$ и $b\bar{b}$ — состоит в том, что во взаимодействии тяжелых кварков основную роль играют хорошо вычисляемые кулоноподобные силы. Поэтому в системе $t\bar{t}$ мог бы образоваться, как в позитронии, стандартный набор кулоновских уровней. Однако, в отличие от позитрония, время жизни τ_T уровней $t\bar{t}$ -«атома» определяется не аннигиляцией составляющих его кварков, а их нестабильностью: $\tau_T = 1/2\tau_t$. При достаточно больших значениях m_t величина τ_T сравнима с характерными временами τ_t формирования связанных $t\bar{t}$ -состояний, так что представление о кварковых атомах теряет смысл. Проследим, например, за судь-

бой топония T — основного состояния системы $t\bar{t}$, аналога J/ψ -мезонов.

Для оценки τ_t можно воспользоваться известной боровской формулой для характерного времени обращения в кулоновском атоме $\tau_t \sim 1/m_t \cdot \alpha_s^2$. Из сравнения времени, необходимого для формирования топония, с временем его распада τ_T следует, что представление о топонии как связанном состоянии $t\bar{t}$ оправдано лишь при $m_t \lesssim 150$ ГэВ. При больших массах t -кварки распадаются, не успевая объединиться в «атом».

Околопороговое образование пары тяжелых кварков в e^+e^- -аннигиляции, сыгравшее столь существенную роль в изучении систем из c - и b -кварков, остается весьма важным и для $t\bar{t}$. Более того, здесь как нигде велика предсказательная сила теории. Сечение этого процесса со всеми деталями, соответствующими уровням $t\bar{t}$ -«атома», если они выживают при энергиях ниже порога рождения кварковой пары, описывается функцией, вычисляемой теоретически. Измерение этого сечения позволит осуществить уникальную комплексную проверку теории в различных ее аспектах, отражающих как электрослабые, так и КХД-эффекты.

Интересно, что большая масса t -кварка несколько ограничивает интервал возможных значений масс хиггсовского бозона. При $m_t > 80$ ГэВ m_H не может быть малой — в противном случае квантовые флуктуации полей, сопоставляемых хиггсовским бозонам, привели бы к нестабильности мира, в котором мы живем. Как показывают расчеты, например, при $m_t \sim 100$ ГэВ m_H должна быть не менее 30—40 ГэВ.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСОХРАНЕНИЯ СР-ЧЕТНОСТИ В РАСПАДАХ ПРЕЛЕСТНЫХ ЧАСТИЦ

Используя результаты группы ARGUS, в рамках СМ можно вполне надежно предсказать параметры нарушения СР-четности в распадах прелестных адронов и, тем самым, предложить новые опыты по изучению этого уникального явления.

В СМ с шестью кварковыми ароматами возможность несохранения СР-четности включена естественным образом. Этот феномен, однако, может наблюдаться только в процессах, где так или иначе проявляются кварки всех трех поколений — $u, d; c, s; t, b$. Экспериментально масштаб нарушения СР-четности характеризуется «СР-запрещенной» амплитудой распада, составляющей примерно $2 \cdot 10^{-3}$ от амплитуды разрешенного распада $K_S \rightarrow 2\pi$.

СМ сегодня в состоянии объяснить да-

же весьма тонкие характеристики экспериментальных данных по CP-нарушению в распадах нейтральных мезонов. Важно, что результат группы ARGUS заметно способствовал укреплению позиций CM в описании этого феномена. Например, объяснение всей совокупности данных по CP-несохранению в рамках CM явно отдает предпочтение большой массе t -кварка.

После столь успешной проверки на K^0 -мезонах гипотеза CM о механизме несохранения CP должна быть подвергнута всестороннему испытанию в распадах прелестных частиц. В CM малая величина эффектов CP-нарушения в распадах K^0 -мезонов получает естественное объяснение: переходы странного кварка в кварки третьего поколения сильно подавлены. Совсем иная ситуация ожидается для B^0 -мезонов, в распадах которых принимают непосредственное участие кварки всех поколений. Поэтому в некоторых распадах прелестных адронов нарушения CP-четности могут достигать десятков процентов. Измерение смешивания $B^0\bar{B}^0$ позволяет надежнее предсказать ожидаемые эффекты.

Несмотря на потенциально большие эффекты, экспериментальное исследование несохранения CP в B-распадах — сложная задача. Адроны с b -кварками имеют много каналов распада, содержащих, как правило, много частиц. В то же время заметное нарушение CP-инвариантности ожидается лишь в некоторых малочастичных модах. Особый интерес представляют проявления несохранения CP в распадах B^0 -мезонов, включая переходы $B^0 \leftrightarrow \bar{B}^0$. Помимо того что здесь должны иметь место максимальные эффекты, именно в таких процессах они однозначно предсказываются в терминах фундаментальных параметров теории.

В CM есть три типа распадов, наиболее перспективных для поиска CP-нарушения: разрешенные распады B_s^0 -мезонов, обусловленные распадом кварка $b \rightarrow c + \bar{c} + s$; запрещенные распады B_s^0 по каналу $b \rightarrow c + \bar{u} + d$; запрещенные распады странных B_s^0 -мезонов. Самые интересные проявления несохранения CP должны наблюдаться в распадах B^0 -мезонов в такие состояния конечных частиц f , которые имеют определенное значение CP-четности, например, $B^0 \rightarrow J/\psi + K_S$, $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ или $B_s^0 \rightarrow \pi^0 K_S$. При этом возможны два механизма распада: «прямой» — $B^0 \rightarrow f$ и «осцилляционный» — $B^0 \rightarrow \bar{B}^0 \rightarrow f$. Интерференция амплитуды двух таких процессов при нарушении CP-инвариантности приводит, в частности, к отклонению временной зависимости числа распадов N от привычного экспоненциального закона $e^{-t/\tau}$ и появлению компо-

ненты, осциллирующей с частотой, равной разности масс B^0 -мезонов ΔM_B . Амплитуда осцилляций в CM должна быть наибольшей (30—40 %) в распадах типа $B^0 \rightarrow \pi^0 K_S$.

Оценки показывают, что в CM для наблюдения несохранения CP требуется по меньшей мере 10^8 B-частиц. Одним из путей реализации исследования CP-нарушения в распадах B-мезонов является создание B-мезонных фабрик — электрон-позитронных коллайдеров с относительно невысокой энергией столкновения частиц (10—15 ГэВ), но очень большой светимостью (порядка 10^{33} — 10^{34} см $^{-2}$ с $^{-1}$), обеспечивающей 10^7 — 10^8 B $\bar{B}$ -пар в год. На таких установках планируется измерение временных осцилляций числа распадов.

В завершение подчеркнем, что мы сделали попытку осветить наиболее очевидные следствия обнаруженного группой ARGUS большого смешивания $B^0\bar{B}^0$ -мезонов, основываясь на сценарии CM с тремя поколениями кварков и лептонов. Не исключено, что в будущем могут появиться какие-то новые данные, которые потребуют критического пересмотра изложенной здесь картины. Важную роль в дальнейшем развитии физики микромира должно сыграть изучение свойств новых тяжелых частиц. Трудно представить себе, что столь удачно начатые группой ARGUS исследования не приведут в обозримом будущем к новым увлекательным поворотам сюжета.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Ансельм А. А. В ПОИСКАХ ЕДИНОЙ ТЕОРИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ // Природа. 1980. № 6. С. 9—17; № 7. С. 63—73.

Азимов Я. И., Докшицер Ю. Л., Хозе В. А. ПАРТОНЫ И СТРУИ // Природа. 1984. № 6. С. 64—76.

Березинский В. С. ОБЪЕДИНЕННЫЕ КАЛИБРОВОЧНЫЕ ТЕОРИИ И НЕСТАБИЛЬНЫЙ ПРОТОН // Природа. 1984. № 11. С. 24—38.

Окунь Л. Б. НОВЫЕ МЕЗОНЫ // Природа. 1976. № 8. С. 28—41.

Смондырев М. А. ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ВЕКТОРНЫЕ БОЗОНЫ // Природа. 1983. № 12. С. 21—35.

Азимов Я. И., Уральцев Н. Г., Хозе В. А. ОСЦИЛЛЯЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ НЕЙТРАЛЬНЫХ B-МЕЗОНОВ // Ядерная физика. 1987. Т. 45. С. 1412—1424.

Г. Н. Батурин

ФОСФОРИТЫ ОКЕАНА



Глеб Николаевич Батурин, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Специалист в области геохимии океана. Автор многих научных и популярных работ, в том числе монографий: Уран в современном морском осадкообразовании. М., 1975; Фосфориты на дне океана. М., 1978; Геохимия железомарганцевых конкреций океана. М., 1986. Неоднократно выступал на страницах «Природы».

В КОНЦЕ 1985 г. Государственным комитетом СССР по изобретениям и открытиям зарегистрировано открытие № 189 под названием «Явление образования современных фосфоритов в зонах апвеллинга на шельфе океана», авторы: Г. Н. Батурин, П. Л. Безруков, А. В. Казаков. Регистрация открытия подводила некий итог в решении немаловажной для геологии проблемы генезиса фосфоритов — осадочных пород, обогащенных «элементом жизни» фосфором примерно в 100 раз по сравнению с его средним содержанием в земной коре, сырья для минеральных удобрений, производство которых в мире неуклонно растет. Поэтому не уменьшается интерес к новым источникам фосфоритов.

Расшифруем и другие специальные термины в формуле открытия: апвеллинг — подъем глубинных вод, шельф — прибрежная зона океана, где глубины не превышают 200 м. Некоторых геологов в названии открытия смутило, пожалуй, вполне понятное слово «современные»: считалось, что открытие-то давно открытое.

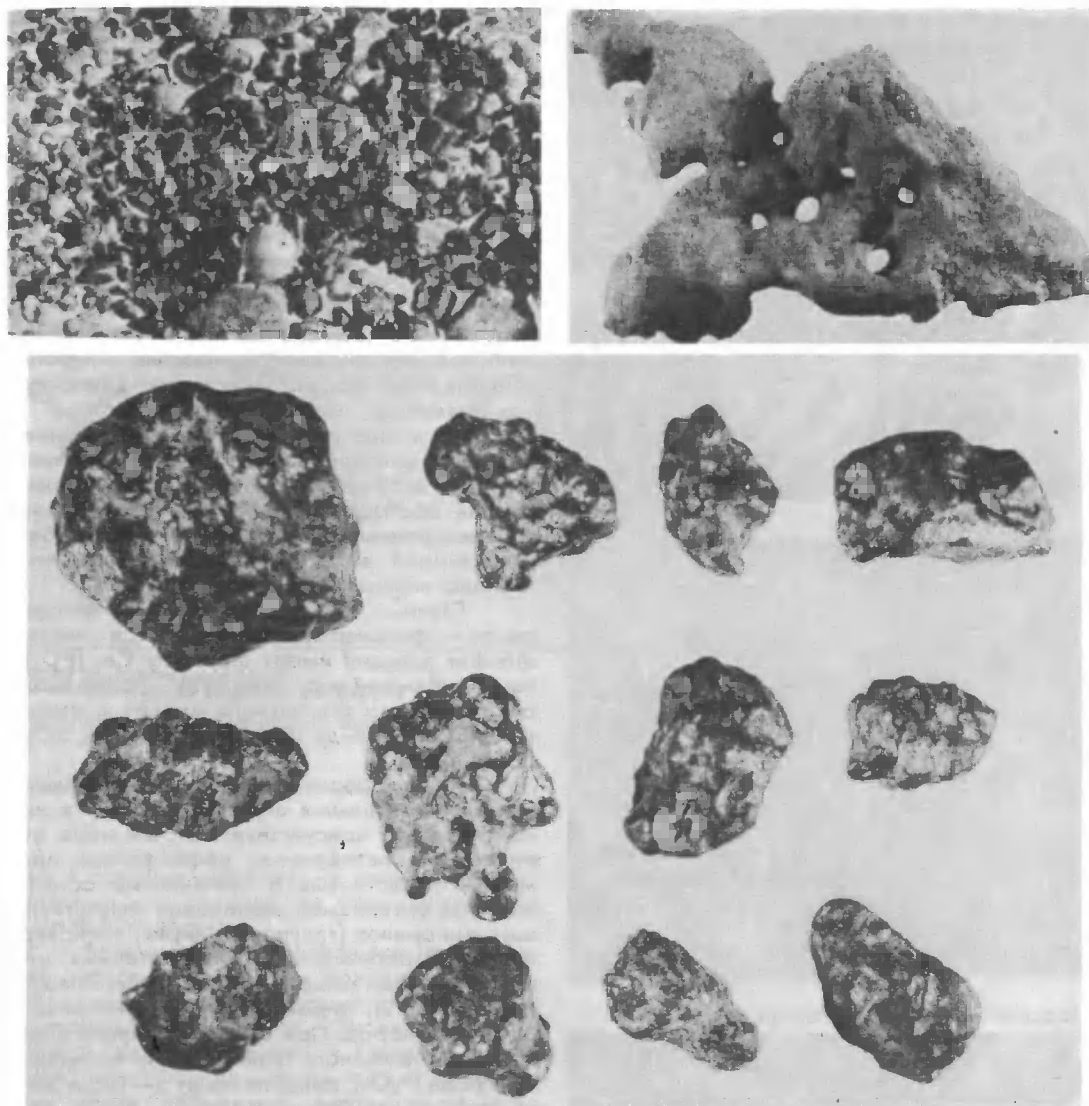
Дело в том, что фосфориты обнаружили на дне океана довольно давно. Первые исследователи полагали, что сам факт их нахождения на поверхности дна прямо свидетельствует об их современном возрасте. А поскольку вопрос о возрасте любого полезного ископаемого — составная часть проблемы его происхождения, считали, что условия в зонах распространения фосфори-

тов в океане типичны для формирования фосфоритов вообще.

Однако выполненное в 60-х годах радиометрическое датирование показало, что обнаруженным до этого времени океаническим фосфоритам более 1 млн лет. На этом основании было сделано заключение, что современная обстановка в океане не может дать прямого ответа на вопрос о генезисе фосфоритов.

Но примерно в то же время автору этих строк во время одной из экспедиций удалось найти на шельфе Намибии действительно современные фосфориты. Их датирование в той давней экспедиции не проводилось, но рыхлые желваки фосфоритов ничем не отличались от вмещающих фосфориты «свежих» донных осадков, кроме повышенного содержания фосфора, и были буквально переполнены остатками современного планктона. Позднее были получены и радиометрические данные, однозначно свидетельствующие о современном (порядка десятков и сотен лет) возрасте этих фосфоритов.

За этой первой находкой последовали новые: современные, голоценовые (несколько тысяч лет) и позднечетвертичные (десяtkи и сотни тысяч лет) фосфориты были обнаружены на подводных окраинах Чили, Перу, Австралии, Индии. Оставалось только соединить ранее существовавшие гипотезы их образования с фактическим материалом, полученным в последние годы. Однако прежде придется сказать несколько слов о соста-



Фосфориты со дна океана: сверху слева — фосфатный песок с шельфа Намибии с примесью раковин фораминифер (шарики), увел. в 15 раз; сверху справа — плитчатый фосфорит с шельфа Перу; внизу — конкреции с подводного плато Блэйк (к востоку от Флориды).

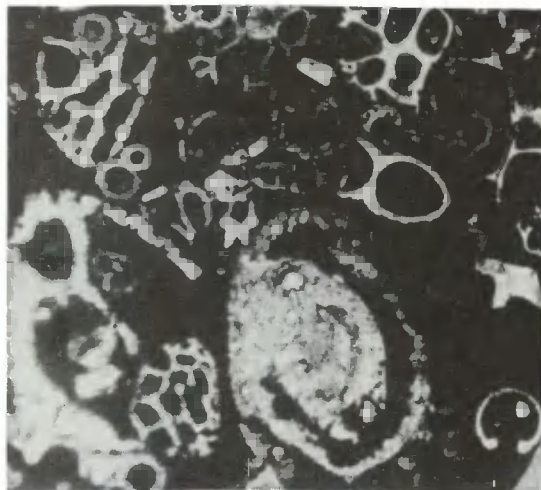
ве, строении и распространении фосфоритов на суше и на дне океана.

НЕСКОЛЬКО СЛОВ О СОСТАВЕ И РАСПРОСТРАНЕНИИ

Фосфориты — породы чрезвычайно многоликие, пожалуй, склонные к мимикрии не менее, чем насекомые. «Коварные» преподаватели геологических вузов частенько норовят вручить студенту для определения

породы лоток с разнообразными по строению, цвету, плотности и твердости образцами фосфоритов. А поскольку они удивительно похожи на песчаники, доломиты, базальты и другие породы, студенты их обычно так и определяют. Не удивительно, что фосфориты, поднятые с океанического дна в экспедиции «Челленджера» на шельфе Марокко в 1874 г., были определены только спустя полвека.

И океанические, и континентальные



Фосфориты океана под микроскопом: сверху — фосфатное вещество с включениями остатков микрофауны. Шлиф [увел. в 30 раз]; в середине — слабо кристаллизированный фосфат, замещающий зерно известняка [увел. в 20 тыс. раз]; внизу — поликристаллический фосфат [увел. в 10 тыс. раз].



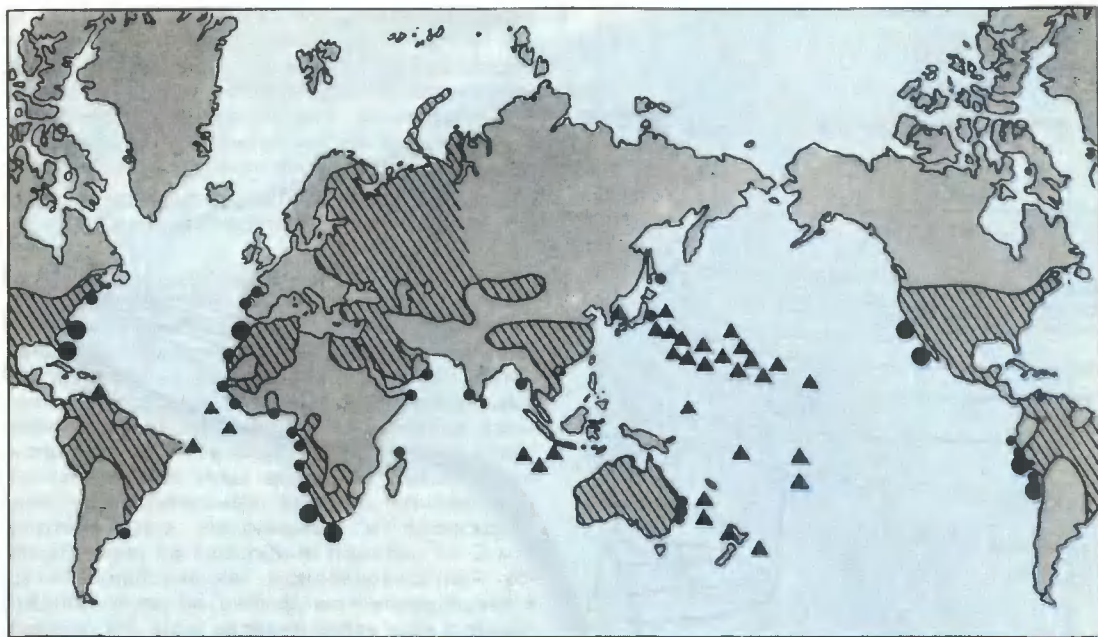
фосфориты могут быть представлены (причем нередко в одном и том же районе) песками, конкрециями, плитами, глыбами, конгломератами, брекчиями, различными фосфатизированными породами первоначально нефосфатного состава, а также скоплениями костей рыб и морских млекопитающих или фосфатизированных копролитов различных морских обитателей.

Не менее разнообразно и внутреннее строение фосфоритов, которое раскрывается при визуальном исследовании свежих сколов образцов, а затем под оптическим и электронным микроскопами, — от бесструктурной аморфной массы до крупных хорошо ограненных кристаллов.

Главный фосфатный минерал фосфоритов — фторкарбонатапатит. Если чистый фосфат кальция имеет формулу $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, то приближенную формулу природного океанического фосфатного минерала можно представить в виде $(\text{Ca}, \text{Na})_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3, \text{SO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$.

Но фосфориты океана редко бывают мономинеральными образованиями — в них почти всегда присутствует то или иное количество «посторонних» нефосфатных примесей: известковые и кремнистые остатки морских организмов, включения сопутствующих минералов (глаукоцит, пирит, тонкозернистый карбонат), зерна терригенных или вулканогенных минералов (чаще всего кварц, полевой шпат, пироксены), обломки разнообразных пород. Поэтому содержание в них главного полезного компонента, пятиоксида фосфора (P_2O_5), колеблется от 5—10 до 30—40 %, CaO от 20 до 50 %. Наиболее распространенные элементы-спутники в фосфоритах океана — редкие земли (до 0,1—0,2 %), стронций (до 0,5 %) и уран (до 0,05 %).

Что касается наземных фосфоритов, то они встречаются на всех континентах в отложениях различного возраста и состава, но распределены крайне неравномерно. Крупнейшие месторождения находятся в Северной Африке, на Ближнем Востоке, некоторых районах Центральной Азии, в США, Китае, Австралии. В то же время их почти нет во многих регионах Южной Америки, Азии, на Дальнем Востоке нашей страны. Вот почему такого внимания удостоены фосфориты океана, встречающиеся в низ-



▨ Континентальные области, обеспеченные ресурсами фосфоритов

▲ Фосфориты подводных гор и возвышенностей

● Крупные залежи фосфоритов в океане

• Отдельные находки фосфоритов

Распространение фосфоритов на дне океана и суше.

ких и средних широтах, на шельфах и континентальных склонах, на подводных горах и возвышенностях.

Большая часть шельфовых фосфоритов тяготеет к четырем крупнейшим фосфоритносным океаническим провинциям — Восточно-Атлантической, Западно-Атлантической, Калифорнийской и Перуано-Чилийской, простирающимся на тысячи километров вдоль побережий Африки и Америки. Как же они образуются?

ГИПОТЕЗЫ ФОРМИРОВАНИЯ

Первые исследователи фосфоритов со дна океана Д. Меррей и А. Ренар еще в XIX в. предполагали, что источником фосфора являются морские организмы, преимущественно рыбы, погибающие в зонах контакта теплых и холодных океанических течений¹. Кости рыб, лежащие на дне, постепенно трансформируются в плотные фосфатные желваки, скопления которых образовали

рудные залежи. Эта гипотеза, названная биолитной, поддерживалась всеми авторитетными геологами вплоть до середины 1930-х годов, когда А. В. Казаков предложил принципиально иную схему².

По его мнению, источником фосфора при образовании фосфоритов была глубинная океаническая вода, содержащая до 300 мкг/л растворенного P_2O_5 . При подъеме этой воды на шельф (с глубины 1—2 тыс. м до 100—200 м) из нее под влиянием падения гидростатического давления выделяется углекислота. В результате вода приобретает щелочную реакцию (рН повышается с 7,5 до 8,5—9), растворимость фосфора резко уменьшается, и он осаждается в форме частичек фосфата кальция на дно, формируя пластовую фосфоритовую залежь, простирающуюся вдоль шельфа.

Благодаря своей простоте и логичности эта гипотеза хемогенного осаждения вскоре завоевала широкую популярность, тем

¹ Murray D., Renard A. // Rep. Sci. Res. HMS «Challenger». Deep-sea deposits. L., 1891.

² Казаков А. В. Фосфатные фации. Тр. НИИУИФ. Т. 145. М., 1939.

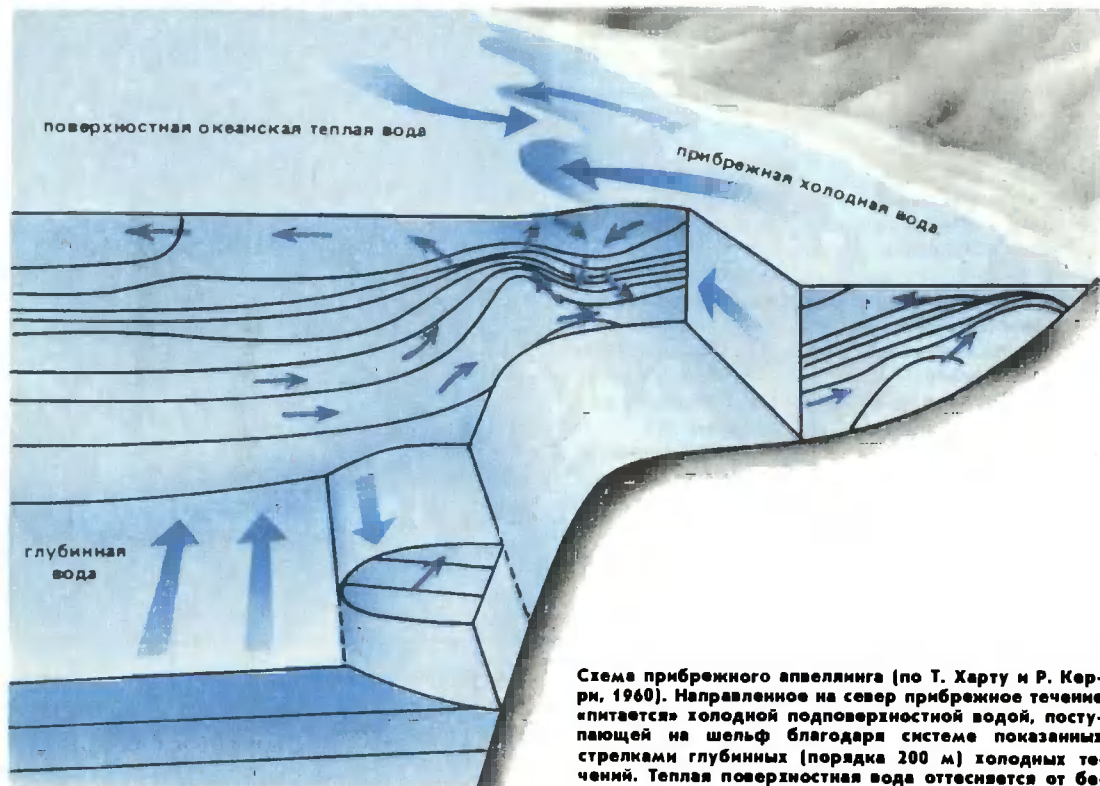


Схема прибрежного апвеллинга (по Т. Харту и Р. Керри, 1960). Направленное на север прибрежное течение «питается» холодной подповерхностной водой, поступающей на шельф благодаря системе показанных стрелками глубинных (порядка 200 м) холодных течений. Теплая поверхностная вода оттесняется от берега холодной шельфовой.

более чем примерно в то же время в Казахстане, в районе Каратау были открыты крупные пластовые фосфоритовые месторождения, сложенные массивным микрозернистым фосфатным веществом, почти не содержащим органических остатков.

В 1955 г. Н. С. Шатский выдвинул вулканогенную гипотезу генезиса фосфоритов, суть которой в том, что растворенный фосфор поступает в океан из подводных вулканов, разносится в виде «жидких облаков» или струй течениями и затем осаждается на дно в зависимости от локальных условий³.

В начале 1960-х годов Г. И. Бушинский сформулировал биохимическую гипотезу, развивавшую основные положения биолитной концепции. Отвергая «подъем глубинных вод» и «хемогенное» осаждение фосфора, Бушинский считал основным источником фосфора речной сток, дренирующий обогащенные фосфором породы кон-

тинента⁴. При впадении рек в море вода встречает плотный фильтр в виде морского планктона, который извлекает фосфор из раствора и затем доставляет его на дно в составе биогенного материала — остатков организмов. В дальнейшем за счет этого фосфора и образуются фосфориты.

Примерно в то же время американский геохимик Л. Эймс предложил гипотезу образования фосфоритов за счет фосфатизации известняков при контакте их с морской водой⁵, обменивающей свой растворенный фосфат (PO_4^{3-}) на карбонат (CO_3^{2-}).

Следует также заметить, что многие исследователи особую роль в накоплении фосфатов отводили микроорганизмам, которые могут накапливать фосфор в своих клетках или способствовать его осаждению косвенно, меняя кислотность и химический состав среды.

Таким образом, диапазон понятий и факторов, содержащихся в конкурирующих

³ Шатский Н. С. Фосфоритоносные формации и классификация фосфоритовых залежей // Совещание по осадочным породам. Т. 2. М., 1955. С. 152—180.

⁴ Бушинский Г. И. // Литология и полезные ископаемые. 1966. № 3. С. 292—311.

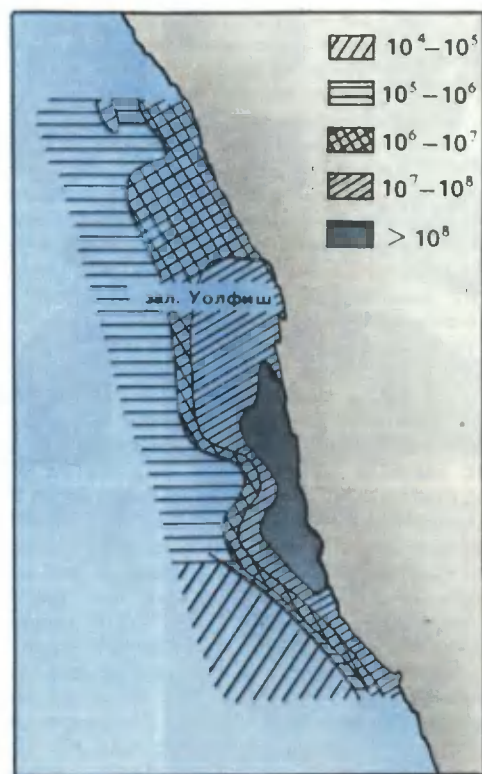
⁵ Ames L. // Econ. Geol. 1959. Vol. 54. № 5. P. 829—841.

и даже исключая друг друга гипотезах образования фосфоритов, столь велик, что после открытия современных фосфоритов осталось только сопоставить зафиксированные натурные наблюдения с теоретическими положениями и вычленив из них те, которые не противоречат фактам.

АПВЕЛЛИНГ — КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР ОБРАЗОВАНИЯ ФОСФОРИТОВ

За счет неравномерного прогрева нашей планеты Солнцем в Мировом океане существует система циркуляции вод, основные составляющие которой — гигантские циклонические и антициклонические круговороты, периферические ветви которых омывают окраины континентов. Благодаря взаимодействию с ветром и силой Кориолиса (отклоняющей силы вращения Земли) каждое горизонтальное течение приобретает вертикальную компоненту, и происходит медленное, со скоростью порядка 1—2 м в сутки, «наполнение» подповерхностной холодной воды на шельф, по направлению к берегу. Об этом явлении знали еще в прошлом веке, но его инструментальное исследование было впервые выполнено британскими океанологами на судне «Дискавери» в 50-х годах нашего столетия. В результате детальной океанологической съемки появились серии вертикальных профилей температуры, солёности и плотности вод, на основе которых была создана общая схема этого явления, названного апвеллингом. При этом прибрежный апвеллинг, как правило, мелководный и охватывает толщу воды от десятков до 100—200 м.

Следующее звено в цепи рассматриваемых событий — деятельность фитопланктона, годовая продукция которого в океане составляет, по разным оценкам, от 30 до 60 млрд т органического углерода. Учитывая, что среднее отношение углерода к фосфору в планктоне океана около 40, в первичную продукцию ежегодно вовлекается порядка 1 млрд т фосфора — по крайней мере в тысячу раз больше по сравнению с количеством растворенного фосфора, приносимого в океан реками. Подавляющая часть этого фосфора многократно рециркулирует в пищевых цепях. В периоды своего цветения фитопланктон почти полностью извлекает растворенный фосфор из морской воды, а при отмирании увлекает его в подповерхностные слои водной толщи, где вновь отдает фосфор в раствор благодаря интенсивным процессам биохимического распада. Поэтому вертикальное перемешивание вод — необходимое условие поддержания биологической продуктивности океана, и в зонах



Концентрация фитопланктона (число клеток в сетных ловах) в зоне апвеллинга на шельфе Намибии.

прибрежного апвеллинга эти процессы идут наиболее интенсивно.

Действуя как гигантский насос, апвеллинг снабжает поверхностные воды шельфа фосфором, азотом, кремнеземом — основными «удобрениями», необходимыми для процветания зыбкой нивы океана. Жизнь реагирует на это почти мгновенно: бурно развивается фитопланктон, концентрация которого здесь в тысячи раз выше, чем в открытом океане. Вслед за ним концентрируются представители всех последующих звеньев пищевой цепи — зоопланктон, планктоноядные и хищные рыбы, морские млекопитающие, птицы. И завершает эту процессию потребитель человек, получающий здесь менее чем на 1 % площади океана до половины мирового улова рыбы.

Для хемогенного осаждения фосфата кальция места здесь не остаются: в процессе первичной продукции весь растворенный фосфор утилизируется живым веществом. За всю более чем вековую историю океанологии и морской химии осаждение



Современные фосфатные стяжения с шельфа Намибии: 1 — рыхлые, 2 — плотные, 3 — шлиф (увел. в 30 раз). Стадии кристаллизации фосфата под электронным (4—7) и сканирующим (8—9) микроскопами.

хемогенного фосфата не наблюдалось ни разу. Экспериментальные и термодинамические данные свидетельствуют, что в современном океане это невозможно принципиально: для этого потребовалось бы увеличить содержание фосфора в морской воде в сотни раз.

Бурное развитие жизни в водах зон апвеллинга непосредственно проецируется на дно в форме своеобразного состава донных осадков. Значительная часть их сложена относительно свежим биогенным детритом, за счет чего они в десятки раз обогащены, по сравнению с глубоководными отложениями, органическим углеродом и фосфором. Таким образом, на дне создается нижний этаж плодородной нивы океана, чрезвычайно богатой питательными веществами. Но воспользоваться ими могут лишь «избранные».

При разложении огромных масс органического вещества на поверхности дна свободный кислород в придонных водах тратится на его окисление, поэтому все дышащие кислородом донные обитатели и рыбы жить в такой обстановке не могут. Исключения представляют сульфатредуцирующие микроорганизмы, питающиеся органическим веществом, но использующие для дыхания кислород сульфата морской воды, который они восстанавливают до сероводорода. Эпизодически, при наступлении застойных явлений, сероводород поднимается со дна к поверхности, губя всех, кто не успел вовремя покинуть сытное, но опасное место, и на дно дополнительно поступают огромные массы погибших при заморе обитателей поверхностных вод.

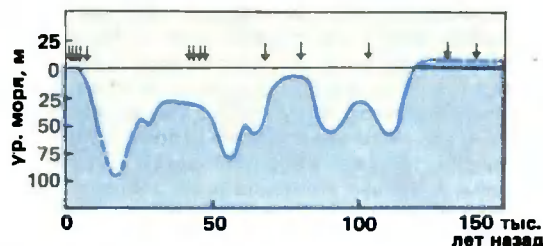
В процессе распада органического материала в донных осадках из него освобождается фосфор, накапливающийся в пропитывающих осадки поровых водах до концентрации порядка 10 мг/л (в морской воде его среднее содержание — 0,07 мг/л). В отдельных участках за счет мозаичности физико-химической обстановки возникают центры пересыщения раствора фосфатом кальция, который и осаждается в форме фосфатного геля. Другой формой выделения фосфата кальция являются веретенообразные частицы микронного размера, которые, возможно, являются фосфатизированными бактериальными клетками. Таким путем в осадке образуются гелеобразные фосфатные стяжения различного размера и формы. Постепенно они дегидратируются, уплотняются, частично кристаллизуются. Одновременно происходит фосфатизация находящихся в осадке первоначально нефосфатных объектов — копролитов, карбонатных раковин, зерен некоторых минералов.

Но для формирования фосфоритовой залежи этого недостаточно: фосфатные компоненты остаются отдельными включениями, рассеянными в массе нефосфатного осадка. Для завершения процесса необходимо естественное сжижение, перемыв осадков — обычные эпизоды в истории развития шельфов. Более 70 % площади шельфов океана лишены современных осадков, что может быть связано с различными причинами — вековыми изменениями уровня океана, изменением режима придонных течений, редкими, но достигающими исключительной силы штормами, смывающими осадки с мелководной части шельфа. При всех подобных событиях вымывается преимущественно мелкий и легкий материал осадков и на дне концентрируются более крупные и тяжелые компоненты, включая зерна и желваки фосфатов. О том, что подобные эпизоды являются необходимым звеном при формировании фосфоритовых залежей, геологи догадывались давно, и океан эту догадку подтверждает. Высокому уровню моря соответствует накопление на шельфе биогенных осадков и формирование фосфатных стяжений, низкому — размыв осадков и остаточная концентрация этих стяжений.

Общая схема современного формирования фосфоритов на шельфах океана, слагающаяся из описанных выше этапов, подтверждает отдельные положения биогенных гипотез, но далека от всех прочих.

Это явление обусловлено закономерным и, вероятно, обычным для океана взаимодействием гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических и геологических факторов на шельфах — зонах наиболее интенсивного обмена веществом и энергией между гидросферой, атмосферой и литосферой. Выпадение любого из этих факторов влечет за собой остановку процесса формирования фосфоритовой залежи, продолжающегося миллионы лет. О длительности процесса свидетельствует, в частности, пример Восточно-Атлантической фосфоритовой провинции, где распространены фосфориты от мелового до современного возраста и где этот процесс многократно вспыхивал и затухал.

На шельфе Марокко при наличии активного апвеллинга современные фосфориты отсутствуют. Причина — мощные придонные течения, препятствующие отложению осадков и рассеивающие осадочный материал по площади континентального склона. Показательный пример миграции апвеллинга — у западного побережья США. В миоцене, при высоком уровне океана, Гольф-



Связь формирования фосфоритов с уровнем моря на подводной окраине Перу и Чили. Время формирования фосфоритов, отмеченное стрелками, совпадает с периодами высокого уровня моря.

стрим омывал побережье, что сопровождалось мощным апвеллингом и накоплением фосфоритов. При понижении уровня океана основная ветвь Гольфстрима была отсечена от побережья подводным субмеридиональным хребтом и процесс образования фосфоритов прекратился.

Но, по мнению некоторых зарубежных исследователей, апвеллинг не является ключевым фактором при формировании фосфоритов, поскольку они могут образовываться чисто микробиологическим путем. Однако факты свидетельствуют о другом. Зоны крупнейших в океане прибрежных апвеллингов — Бенгельского, Перуанского, Калифорнийского — совпадают с крупнейшими фосфоритонасными провинциями. В зонах более слабых и спорадических апвеллингов (у побережий Индии, Восточной Австралии) наблюдаются лишь незначительные и рассеянные по дну желваки фосфоритов. Во всяком случае, для формирования крупной залежи фосфоритов нужны миллиарды тонн фосфора, и ни один гипотетический источник не может конкурировать с апвеллингом в поставке такого количества этого элемента на шельф.

Особый интерес в этом отношении представляют подводные горы и возвышенности, многие из которых прошли вулканическую стадию развития. Случаи повышенного содержания фосфора в термальных водах зон активного вулканизма на континентах известны, но в океане такие случаи не фиксировались — напротив, в высокотемпературных растворах рифтовых зон содержание фосфора оказалось не выше, чем в морской воде. Наиболее эффективным показателем вулканогенного характера фосфатизации пород на подводных горах считают прожилки и включения плотного фосфата в базальтоидах и брекчиях. Но, с другой стороны, известно, что большинство под-

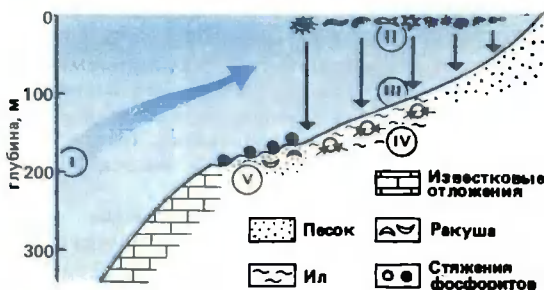


Схема формирования фосфоритов в современном океане. Из-за подъема на шельф подповерхностной воды, обогащенной фосфором (II), активно развивается фитопланктон и питающиеся им животные (III). На дне образуются осадки, обогащенные органическим веществом и фосфором (III). При разложении органических остатков фосфор растворяется в иловой воде и переосаждается в форме рыхлых фосфоритовых стяжений (IV). После их уплотнения и последующего переомыва донными течениями остается фосфоритовый концентрат (V).

водных гор были ранее островами или мелководными банками, и это неминуемо сопровождалось возникновением апвеллинга, высокой биологической продуктивностью вод и биогенной седиментацией фосфора. Свидетельством высокой биологической продуктивности является обилие в этих фосфоритах органических остатков, в частности костей рыб. Но поскольку образование современных фосфоритов на подводных горах не наблюдалось, однозначно установить ход этого процесса пока не удастся.

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ

Несомненно, что фосфориты на дне океана — существенный резерв мировых ресурсов горнохимического сырья. По первому ориентировочному прогнозу, основанному на предполагаемой фосфоритонасности 10 % площади шельфов, ресурсы фосфоритов были оценены в 300 млрд т фосфатной породы. Однако, судя по последним данным, эта цифра должна быть существенно ниже, хотя повсеместная детальная геологическая съемка шельфов все еще остается делом будущего и выполнена пока только на отдельных участках.

На континентальной окраине ЮАР ресурсы P_2O_5 составляют около 9 млрд т, на шельфе п-ова Калифорния (Мексика) — до 4 млрд т, на шельфе Каролины и Джорджии (США) — 4,5 млрд т. К настоящему времени общие разведанные ресурсы P_2O_5 на шельфах составляют около 16 млрд т. Учитывая значительное число неразведанных фосфатопоявлений на шельфах и также ши-

рокое распространение фосфоритов на подводных горах, общие прогнозные ресурсы фосфоритов на дне океана следует, вероятно, оценить в 25—30 млрд т P_2O_5 .

Агрохимические свойства фосфоритов с подводной окраины ЮАР, поднятия Чатам (близ Новой Зеландии), подводных возвышенностей Японского моря и подводных гор Мид-Пасифик в Тихом океане исследовались специалистами ЮАР, Новой Зеландии и СССР. В этих фосфоритах содержание подвижного фосфора, доступного растениям без предварительной химической переработки сырья, оказалось необычно высоким. Более детальные исследования фосфоритов со дна Японского моря показали их пригодность для производства концентрированных фосфорных удобрений — аммофоса, простого и двойного суперфосфата, обесфторенных кормовых фосфатов, используемых в животноводстве, а также фосфорной кислоты. Все эти продукты соответствуют действующим кондициям.

Условия залегания фосфоритов крайне разнообразны и далеко не всегда благоприятны для разработки. Наиболее удобны для освоения фосфатные пески на шельфах Джорджии и Северной Каролины, залегающие в виде достаточно мощных пластов на плоском дне и на незначительной глубине. Предполагается, что их будут разрабатывать гидравлическим способом с помощью скважин большого диаметра, из которых фосфатные пески будут поступать в виде пульпы.

Возможно, благоприятным объектом попутной добычи окажутся со временем фосфориты подводных гор, перекрытые железомарганцевыми корками, которые являются потенциальным кобальтовым сырьем. Добыча желваковых фосфоритов с подвод-

ного поднятия Чатам с глубин 350—400 м также не представляет технических сложностей, но временно законсервирована по соображениям охраны природной среды из-за аномально повышенного содержания урана в этих фосфоритах (до 0,5 кг/т).

Основным сдерживающим моментом при освоении фосфоритов океана остается экономическая целесообразность. Наиболее низкая себестоимость (20—26 долл./т) прогнозируется при добыче фосфатных песков в заливе Онслоу (Северная Каролина). Для Новой Зеландии разработка желваковых фосфоритов на поднятии Чатам была бы выгоднее по сравнению с импортом высококачественных фосфоритов с островов Науру и Оушен в экваториальной зоне Тихого океана. Но добывать фосфориты на шельфах Марокко или Перу явно нецелесообразно в связи с наличием на прилегающей суше крупных эксплуатируемых фосфоритовых месторождений. Вопрос об освоении фосфоритов Японского моря и северо-западной части Тихого океана будет решаться специалистами СССР, Японии и КНДР в зависимости от темпов интенсификации сельского хозяйства дальневосточного региона и прогресса морской технологии.

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что образование фосфоритов на дне океана представляет собой грандиозное геологическое явление, начавшееся, вероятно, со времени появления жизни на Земле и обусловленное сочетанием не экзотических, а обычных факторов океанической среды. Исследование этого явления — проблема в равной степени океанологическая и геологическая.

Начало на с. 63.

вестного специалиста по мю-катализу С. Е. Джоунса (S. E. Jones; Университет Янга, Прово, штат Юта). Описание их экспериментов было направлено в научный журнал (интересное совпадение!) именно 23 марта, в день упомянутой пресс-конференции.

В этой работе в сходных условиях наблюдалось нейтронное излучение, но во много раз меньше, чем у Понса

и Флейшмана. О тепловых эффектах ничего не сообщается. Возможно, Понсу и Флейшману удалось найти более «выгодные» условия, чем Джоунсу с соавторами.

Джоунсу удалось изменить энергетический спектр нейтронов и подтвердить их связь с реакцией $D+D=^3He+n$. Рассмотрены также некоторые геофизические следствия, основанные на возможности холодного синтеза в кристаллической решетке. Так, если такой синтез

имеет место в недрах Земли, то во время извержений вулканов должен выделяться тритий. И действительно, во время извержения на Гавайских о-вах наблюдался выброс до 100 Ки трития.

Очень малое количество нейтронов в обоих случаях позволяет, кроме приведенного, дать и другие объяснения.

Однако наблюдаемое в экспериментах выделение тепла в настоящее время вообще не имеет разумных объяснений.

² Jones S. E., Palmer E. P. et al. // Submitted to «Nature». March 23, 1989.

„Я глубоко убежден, что я прав..“

Н.К. Кольцов и лысенковщина

А. Е. Гайсинович,
доктор биологических наук

Институт биологии развития
им. Н. К. Кольцова АН СССР

К. О. Россиянов,
кандидат биологических наук

Институт истории естествознания
и техники АН СССР
Москва

ДЛЯ НАШЕГО времени характерно стирание белых пятен в отечественной истории. Внимание общественности, как никогда, обращено к архивам, к документам, долго ждавшим широкой огласки. Не обошел свежий ветер перемен и Архив Академии наук СССР. В частности, открылись для публикации документы из фонда № 450, фонда члена-корреспондента АН СССР Николая Константиновича Кольцова (1872—1940). Не все они были известны его прежним биографам, так что эта публикация, как увидит читатель, представляет особую ценность.

Кольцов вне зависимости от политической обстановки и господствовавших научных доктрин всегда защищал генетику от несправедливых нападок. Уже в 1914 г. на страницах «Природы», одним из создателей которой был Н. К. Кольцов, он смело выступил против критики менделизма К. А. Тимирязевым¹. Генетические исследования в основном Кольцовым в июле 1917 г. Институте экспериментальной биологии не раз подвергались огульной критике, причины которой не имели ничего общего с наукой. Однако Кольцов неизменно отстаивал интересы генетики; при этом он не шел ни на какие компромиссы, которые, как казалось многим его современникам, могли бы облегчить положение биологии в нашей стране.

Классический зоолог по образованию, Кольцов впервые в России подошел к созданию экспериментальной биологии, основной задачей которой был синтез самых разных

биологических дисциплин. Его работы по экспериментальной цитологии и физико-химической биологии уже в 20-е годы снискали ему славу всемирно известного ученого, а его концепция матричной репликации генов явилась блестящим научным предвидением.

Нет нужды останавливаться на научных работах Кольцова — о них написано достаточно много².

Кольцов одним из первых выступил на защиту современной генетики, когда в середине 30-х годов Т. Д. Лысенко и его сторонники начали пропагандировать идеи о наследовании приобретенных признаков. В печати развернулась широковежательная реклама мнимых открытий Лысенко, а также их значения для сельского хозяйства. Немногие поняли тогда всю опасность «мичуринского учения», тесно связанного с культивировавшейся в ту пору идеологией. Лысенко умело использовал распространенные псевдомарксистские представления, в частности тезис о том, что наука делится на буржуазную и пролетарскую и, следовательно, необходим критический пересмотр всех ее результатов. Другое абсурдное положение, которое искусно эксплуатировалось Лысенко, сводилось к тому, что развитие фундаментальной науки будто бы должно направляться исключительно запросами практики. Считалось — и это ярко отражено в публикуемых ниже документах, — что лучший судья

¹ Подробнее см.: Гайсинович А. Е. Восприятие менделизма в России и его роль в развитии дарвинизма // Природа. 1982. № 9. С. 42—52.

² См., напр.: Рокицкий П. Ф. Роль Н. К. Кольцова в развитии общей и экспериментальной биологии в нашей стране // Природа. 1972. № 7. С. 24—32; Н. К. Кольцов о науке // Там же. С. 32—35.



Николай Константинович Кольцов в своей лаборатории. Фото 30-х годов.

в научных спорах не ученый, не специалист, а практик, производственник.

«Мичуринская биология» стала усиленно насаждаться «сверху» после того, как идеи Лысенко нашли отклик у высшего руководства страны. Уже в 1935—1936 гг. он заручился поддержкой руководителей партии и правительства во главе с самим Сталиным. В этой обстановке {9—27 декабря 1936 г. состоялась IV сессия ВАСХНИЛ, на которой развернулась острая полемика между сторонниками и противниками ламаркистских установок Лысенко³.

Если Н. И. Вавилов, А. С. Серебровский и Г. Меллер на этой сессии отстаивали положения генетики, то Лысенко обрушился на «буржуазную генетику», выдвинув тезис о «переделке природы растений путем воспитания». Он отрицал реальность генов и их связь с хромосомами, а также заявлял, что генетика стоит на антидарвинистских позициях.

В защиту генетики выступили Н. К. Кольцов, М. М. Завадовский, Г. А. Левитский, М. С. Навашин, Г. Д. Карпеченко, Д. Костов, Н. П. Дубинин и другие. В то время как сторонники генетики придерживались строго научных аргументов, их оппоненты подходили к спорным проблемам дискуссии «с классовых позиций». Так, Н. В. Цицин заявил: «Наука есть только классовая, надклассовой науки не существует... Если подойти с этой точки зрения к анализу двух существующих направлений в генетике и селекции, то следует сказать, что одно направление, возглавляемое Т. Д. Лысенко, стоит твердо на позициях классовой науки». Сходным образом высказывался И. И. Презент: «Тот, кто не понимает огромной социально-классовой значимости нашего спора, тот не понимает и существа нашей дискуссии»⁴. Лысенко подчеркивал необходимость «освоить, переработать на наш советский лад» генетику⁵. Современной генетике лысенковцы демагогически противопоставляли дарвинизм. «Генетику,— говорил Лысенко,— необходимо развивать только с позиции дарвинизма, в плане дарвинизма...»⁶ «При этом понятно,— пояснил Презент, выступая месяцем позже,— что Дарвин выступает не в таком виде, в каком он фигурировал в прошлом столетии, а как Дарвин, переработанный классиками марксизма»⁷.

Несмотря на попытки противников генетики подкрепить свои положения политическими доводами, ее защитники были убеждены, что генетика сохранила свои позиции и одержала верх в состоявшейся дискуссии. Вавилов так оценил ее итоги: «Была попытка поколебать здание современной экспериментальной генетики, связать ее с антидарвинистическими тенденциями. Думаю, что общее впечатление таково, что здание генетики осталось непоколебленным, ибо за ним стоит громада точнейшей проконтролированной работы»⁸. Такого же мнения придерживалось и подавляющее большинство генетиков, присутствовавших на этой сессии, в том числе один из авторов этой статьи.

Но Кольцов считал иначе. Уже тогда, за 12 лет до печально знаменитой августовской (1948 г.) сессии ВАСХНИЛ он предвидел, какие роковые последствия для судеб генетики в нашей стране могут иметь обвине-

⁴ Там же. С. 296, 382.

⁵ Там же. С. 70.

⁶ Там же. С. 461.

⁷ См.: Архив АН СССР. Ф. 1593. Оп. 1. Ед. хр. № 15. Л. 9.

⁸ ЛГАОРСС. Фонд ВИР. № 9708. Дело 1372. Л. 144. (Цит. по: Поповский М. 1000 дней академика Вавилова // Простор. 1966. № 7. С. 21.)

³ Стенограммы заседаний сессии были изданы в сокращенном виде в 1937 г. См.: Спорные вопросы генетики и селекции: Работы IV сессии ВАСХНИЛ. М., 1937. С. 296.



Н. И. Вавилов, А. И. Муралов, М. М. Завадовский в Президиуме на IV сессии ВАСХНИЛ. Декабрь 1936 г.

ния, выдвинутые на сессии. И обеспокоенный ее итогами, он обращается в январе 1937 г. к президенту ВАСХНИЛ А. И. Муралову⁹.

Многоуважаемый Александр Иванович, не могу скрыть от Вас, что вся сессия ВАСХНИЛ, и в особенности последнее вечернее заседание, произвели на меня гнетущее впечатление. Дискуссия измучила всех нас, но не дала никаких результатов или дала результаты самые отрицательные. Заключительные слова четырех докладчиков¹⁰ показали, что по основному предмету дискуссии они остались на своих прежних позициях и если одна сторона пыталась протянуть руку другой, то другая эту протянутую руку решительно оттолкнула. Особенно неприемлема для меня Ваша последняя формулировка. Вы ее назвали результатом совещания. В ней 4 раза упоминаются

ак. Лысенко и дарвинизм, а неупомянутой генетике, этой необходимой, по моему убеждению, научной основе всякой селекции, остается фигурировать под именем антидарвинистических тенденций. Разве же подобную формулировку можно выдать за резолюцию академии? Если бы Вы поставили такую резолюцию на баллотировку, я голосовал бы открыто против нее и думаю, со мною вместе голосовали бы против некоторые академики и во всяком случае не менее 3/4 всех слушателей.

В особенности несчастными оказались преподаватели генетики в провинциальных вузах. С чем Вы их отпустили на места? Они вернутся на свои кафедры, и студенты скажут им, что не желают слушать тенденциозной антидарвинистической генетики. Ведь такую характеристику генетики они только и знают из газет, которые печатали необъективные и часто совершенно неграмотные сообщения о заседаниях сессии. Чего стоит, например, отчет в «Правде» от 27 декабря, где говорится, что ак. Перов защищал ак. Лысенко от обвинений в ламар-

⁹ Архив АН СССР. Ф. 450. Оп. За. Ед. хр. № 6. Л. 1—3.

¹⁰ Н. И. Вавилов, А. С. Серебровский, Г. Меллер, Т. Д. Лысенко.

кизме¹¹. Как Вы назовете такую «правду»? Неужели она так и останется неопровергнутой? Ведь у тысячи слушателей, у всех без исключения (сам ак. Лысенко отказался солидаризироваться с Перовым) эта «правда» подрывает веру в «Правду». Доклад ак. Мейстера¹² опубликован и в «Известиях», и особенно в «Правде» с такими сокращениями, которые лишили его успокаивающего наши тревоги за судьбу генетики значения.

Надо исправить допущенные ошибки. Ведь от получившегося в результате сессии разгрома генетики пострадает, может быть, не один выпуск агрономов, которые останутся без курса генетики, а те агрономы, окончившие курс, не познакомившись с генетикой, конечно, не станут ее изучать. Что Вы сказали бы, если бы в сельхозвузах было уничтожено преподавание химии? А генетика, это чудесное достижение человеческого разума, по своей точности приближающееся к химии, не менее нужна для образования агронома. Генетика, конечно, не селекция, так же, как и химия не агротехника. Но без обеих этих теоретических наук не может быть агрономического образования.

Заменить генетику дарвинизмом нельзя, как нельзя дифференциальное вычисление заменить алгеброй (конечно, и обратно). Полвека в науке — большой период, и нельзя Советскому Союзу хотя бы в одной области отстать на 50 лет.

Надо что-то предпринять и медлить нельзя. Конец семестра в вузах пропадет, но надо, чтобы к началу следующего студенты начали снова изучать генетику и не видели в ней контрреволюции. На Вас как на руководителя 4-й сессии ляжет ответственность за то, что несколько выпусков агрономов в результате работы этой сессии могут остаться неучами. Но великая ответственность ложится и на нас, биологов, в особенности старых специалистов, если мы в такой тяжелый поворотный момент не поднимем своего голоса в защиту науки. С нас прежде всего спросит история, почему мы не протестовали против недостойного для

Советского Союза нападения на науку. Но что история! Нам и сейчас стыдно за то, что мы ничего не можем сделать против тех антинаучных тенденций, которые считаем вредными для страны. Невежество в ближайших выпусках агрономов обойдется стране в миллионы тонн хлеба. А ведь мы не меньше партийных большевиков любим нашу страну и гордимся успехами соц. строительства. Потому-то я не хочу и не могу молчать, хотя и знаю, что в результате моего выступления в какой-нибудь газете может появиться фельетон, обливающий меня грязью.

Я предлагаю Вам прежде всего настоять на том, чтобы в «Правде» и «Известиях» были напечатаны обширные статьи, написанные настоящими учеными генетиками в защиту их науки. В ближайшем будущем необходимо созвать совещание академиков с неперменным участием представителей ЦК тов. Яковлева и тов. Баумана¹³ (я посылаю им копию настоящего письма). Может быть, удастся принять меры, чтобы спасти науку.

Уважающий Вас

Н. К. Кольцов

Получив это письмо, Муралов организовал 16 января 1937 г. специальное заседание Президиума ВАСХНИЛ, посвященное его разбору, с участием вице-президентов Н. И. Вавилова, Г. К. Мейстера, М. М. Завадовского, ученого секретаря Л. С. Марголина, а также Н. К. Кольцова и П. Н. Константинова¹⁴. Президиум отклонил все предложения Кольцова, в частности его план созвать совещание академиков ВАСХНИЛ. Один из пунктов принятого постановления гласил: «Признать, что письмо академика Н. К. Кольцова неправильно оценивает результаты дискуссии... Пункт принят тремя членами Президиума — акад. А. И. Мураловым, акад. Г. К. Мейстером и акад. Л. С. Марголиным при двух воздержавшихся — акад. Н. И. Вавиллове и акад. М. М. Завадовском. Академики Н. И. Вавилов и М. М. Завадовский, мотивируя

¹¹ Перов С. С. (1889—1967) — биохимик, один из лидеров механоламаркизма. Академик ВАСХНИЛ с 1935 г. На IV сессии ВАСХНИЛ Перов призывал сторонников Лысенко к сотрудничеству с ламаркистами. Однако Лысенко отмежевался тогда от предложения Перова, заявляя, что он «не согласен» с Ламарком. В опубликованном в «Правде» отчете о сессии Перову приписаны слова «Обвинения академика Лысенко в ламаркизме... вздорны и необоснованны» (Правда. 1937. 27 дек. С. 6).

¹² Мейстер Г. К. (1873—1943) — видный селекционер, с 1935 г. академик ВАСХНИЛ.

¹³ Яковлев Я. А. (1896—1938) — с 1934 г. заведовал сельскохозяйственным отделом ЦК ВКП(б), в 1937 г. репрессирован; Бауман К. Я. (1892—1937) — заведующий отделом науки ЦК ВКП(б), репрессирован в 1937 г.

¹⁴ Завадовский М. М. (1891—1957) — ученик Кольцова, эмбриолог, создатель метода стимуляции многоплодия у овец, имевшего важное практическое значение, академик ВАСХНИЛ с 1935 г.; Константинов П. Н. (1877—1959) — крупный растениевод и селекционер, академик ВАСХНИЛ с 1935 г.; Марголин Л. С. (1895—1938) — экономист, академик ВАСХНИЛ с 1935 г., ученый секретарь ВАСХНИЛ в 1936—1937 гг.

свое воздержание при голосовании этого пункта, заявили, что на данной стадии более видны отрицательные результаты проведенной дискуссии, но что в дальнейшем постановка экспериментов и разработка спорных вопросов окажутся полезными с точки зрения интересов науки»¹⁵.

Не ограничившись обсуждением на Президиуме, Муралов написал ответное письмо Кольцову. Копии своего ответа он разослал также и другим адресатам. Письмо Муралова было отправлено 23 февраля 1937 г., т. е. более чем через месяц после заседания. Задержка объяснялась, по видимому, тем, что 23—30 января состоялся сфабрикованный судебный процесс по делу так называемого «параллельного антисоветского троцкистского центра». Одним из основных обвиняемых был брат Муралова — Н. И. Муралов¹⁶, приговоренный к расстрелу. Его имя в те дни всячески порочилось в печати. Так, в стихотворении «Смерть подлецам!» А. Сурков писал:

Вот все они: лакеи генералов,
Шипки по крови и дружья шипиков —
Серебряков, Сокольников, Муралов,
Двуличный Радек, подлый Пятаков¹⁷.

Приводить полностью обширное письмо Муралова не имеет смысла, поскольку в нем нет ни одного довода по существу проблем генетики. Однако для современного читателя могут представить интерес характерные для тех лет приемы аргументации¹⁸.

Академику Н. К. Кольцову
Николай Константинович!

Посылаю Вам протокол Президиума Академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина по разбору Вашего письма ко мне. На этом заседании Президиума Вы присутствовали и участвовали в разборе Вашего же письма.

Президиум, как Вы сами видите, опроверг обвинения, выдвинутые Вами против меня, как главного виновника «разгрома генетики», нападения на науку и проч.

Направляя Вам этот протокол Президиума, со своей стороны хочу высказать свои соображения по этому вопросу и зая-

вить, что я решительно расхожусь с Вами в оценке положения и состояния генетики. <...>

Многу по заслугам была упомянута работа Одесского селекционно-генетического института и акад. Лысенко, которая должна служить образцом для всех научно-исследовательских учреждений и научных работников, как по разработке методов ускоренного выведения сортов, так и по быстрейшему их размножению и внедрению в производство. В заключительном слове я также указал на то, что наша сельскохозяйственная наука во всех своих разделах должна перестроить свою работу на основе еще более поднятого на уровень марксизма учения Дарвина, что основным критерием проверки ценности той или иной концепции является опыт и практика социалистического земледелия. <...> В тесном ли кругу узких специалистов или в широком кругу научных работников и производственников нужно было бы обсуждать спорные вопросы селекции и генетики? Вы в своем письме находите нужным созвать совещание академиков для принятия мер, чтобы «спасти науку». В своем выступлении на сессии Вы говорили на эту тему и установили такое положение, что критиковать генетику может только тот, кто сам занимается генетикой, прошел курс по генетике. Вы пытаетесь навязать обсуждение вопросов наследственности узкому кругу так называемых чистых генетиков без участия ученых смежных отраслей науки, особенно селекционеров. Но ведь известно из истории науки, что сильные сдвиги делали как раз ученые неспециалисты. Так, новый этап в медицине был сделан биохимиком и кристаллографом Пастером. Да и сам Мендель был по специальности богословом. Вы сторонник, явный сторонник узкого обсуждения вопроса в замкнутом кругу специалистов. Но в нашей стране такая наука не может быть названа наукой. Каждый трудящийся помнит Сталинскую заповедь: «чтобы строить, надо знать, надо овладеть наукой». На нашей IV сессии, посвященной дискуссионным вопросам селекции и генетики, участвовало до тысячи человек. ...Вместо того, чтобы радоваться такой небывалой для генетики аудитории, Вы, как улитка, прячетесь от дневного света в свою скорлупу.

Кого из тысячи Вы хотите оставить? Вы из тысячи хотите оставить только 27 академиков. Остальных Вы лишаете возможности участвовать в строительстве нашей науки, значит, лишаете возможности знать, а следовательно, и участвовать в строительстве. Кто из научных работников, агроно-

¹⁵ Архив АН СССР. Ф. 450. Оп. 3а. Ед. хр. № 98. Л. 10—11.

¹⁶ Муралов Н. И. (1877—1937) — один из руководителей восстания в Москве в октябре 1917 г., после Октябрьской революции — командующий Московским военным округом. В 1927 г. исключен из партии за участие в оппозиции.

¹⁷ Правда. 1937. 26 янв. С. 4.

¹⁸ Архив АН СССР. Ф. 450. Оп. 3а. Ед. хр. № 98. Л. 1—9.

мов, зоотехников, экспериментаторов, стахановцев согласится на это, Николай Константинович? Я решительно утверждаю, что никто (...).

В своем письме ко мне Вы пишете, что оно является «голосом в защиту науки». Разберем также и это Ваше положение. Вы себя считаете генетиком, и Вас считают генетиком. Но я позволю себе Вас спросить: как выглядят Ваши высказывания в свете современных знаний науки успехов социализма и существования Сталинской конституции, которые (высказывания), хотя и относятся ко времени 1921—1923 гг., но от которых Вы до сих пор еще нигде не отказались?

В «Русском евгеническом журнале» Вы писали: «Опустошения, производимые в культурном человечестве эпидемиями чумы, холеры, оспы и тифов, а также и туберкулезом, могут быть рассматриваемы как отбор слабых конституций, являющийся в расовом смысле благотворительным для физического здоровья расы»¹⁹.

В других Ваших писаниях в том же журнале не меньше мракобесия, чем в приведенном мной. Вы пишете: «Было бы достаточно предположить, что законы Менделя были открыты всего веком раньше: русские помещики и американские рабовладельцы, имевшие власть над браками своих крепостных и рабов, могли бы достигнуть, применяя учение о наследственности, очень крупных результатов по выведению специальных желательных пород людей»²⁰.

Если Вы имеете в виду такую «науку», такие «теории», когда пишете о «разгроме генетики», то Вы правы, что такую науку в Советской стране будет громить всякий честный ученый.

Вот еще «перлы» из той же области. Вы пишете, что «сохранение представителей активного типа имеет абсолютную генетическую ценность вне зависимости от их временного фенотипного образа мыслей...»²¹
(...)

Читая подобные Ваши высказывания, я еще раз спрашиваю: в защиту какой науки Вы подаете свой голос? Академик А. С. Серебровский отмежевался на IV сессии Академии от подобных высказываний, имевших место у него ранее, но, к сожалению, не вскрыты им теоретические истоки

установок, руководивших им при этих его высказываниях. Вы же умолчали о своих взглядах на тот же предмет. Не говоря уже о том, что перенесение законов биологии на человека является делом антинаучным, приходится, естественно думать, что Вы продолжаете держаться взглядов, выше указанных. А если не так, то почему Вы в своем выступлении на Сессии не коснулись этого?

Это не обливание Вас грязью, как этого Вы боитесь («в результате моего выступления в какой-нибудь газете может появиться фельетон, обливающий меня грязью», — пишете Вы), а вполне естественная защита генетической науки от мракобесия, поповщины и ретроградства. Скажите, из какой науки Вы черпали основания для подобных высказываний? Вот эту «науку» нужно разгромить до конца. В первую очередь, Вы, Николай Константинович, должны проанализировать, где и в чем корни подобного мракобесия.

Вы в своем письме на мое имя опасаетесь, что студенты скажут, что «не желают слушать тенденциозную антидарвинистическую генетику». Если те же «научные» основания, которые высказывают мракобесы, содержатся в той науке, которую Вы защищаете, то каждый студент, который откажется слушать подобную «науку», только выполнит свой долг, защищая настоящую науку от фальсификации. Наше советское студенчество является свидетелем величайшего явления, когда теоретические положения основоположников научного социализма получили блестящую реализацию в Советском Союзе, в Сталинской конституции, в осуществлении первой фазы коммунистического общества, теоретически задолго предвиденного. Советское студенчество, как и все трудящиеся нашей страны, желают с таким же успехом реализовать теоретические положения науки по преобразованию природы в интересах социалистического общества.

Ваши же высказывания, Николай Константинович, идут вразрез этому и в нашей стране они не пройдут.

В письме к Первой всесоюзной конференции пролетарского студенчества тов. Сталин писал: «Я думаю, что наша Советская страна с ее революционными законами и традициями, с ее борьбой против косности и застоя мысли представляет наиболее благоприятную обстановку для расцвета наук». В нашей стране партия «стоит за науку», «партия ведет политику всемерного отстаивания науки» (т. Сталин). Поэтому Ваши тревоги за судьбу науки в Советской стране совершенно напрасны. Наши сту-

¹⁹ Кольцов Н. К. Влияние культуры на отбор в человечестве // Русск. евгенический журн. 1924. Т. 2. № 1. С. 10.

²⁰ Кольцов Н. К. Улучшение человеческой породы // Там же. 1922. Т. 1. № 1. С. 9—10.

²¹ Там же. С. 25.

денты будут изучать генетику, но они ее будут изучать на основе изучения марксизма и дарвинизма и генетическая наука будет успешно двигаться вперед и оказывать реальную помощь селекции, переделывающей животных и растительный мир и обогащающей наше социалистическое сельское хозяйство новыми растениями и новыми породами животных.

Мое пожелание Вам, Николай Константинович, не очутиться по другую сторону от настоящей генетической науки.

Президент Академии
Академик

А. И. Муралов.

Как известно, Кольцов не раз подвергался резкой критике в связи с евгеническими идеями, пропагандировавшими на страницах созданного им «Русского евгенического журнала» (1922—1929). Это дало повод утверждать, что «евгенические ошибки» Кольцова стали причиной ожесточенных нападок на саму генетику. Н. П. Дубинин писал, что «ошибки его послужили тормозом для развития экспериментальной биологии, и в первую очередь генетики»²². «Если бы Н. К. Кольцов как-то по-новому, усвоив уроки критики, разобрал вопросы евгеники, возможно, это предохранило бы генетику от многих нападок. Но его молчание дало повод вновь и вновь возвращаться к ошибкам»²³. Однако работы Кольцова по евгенике (кстати полностью прекращенные им в конце 20-х годов) послужили лишь поводом для нападок на него лично и на генетику в целом. Это прекрасно понимал сам Кольцов, считая, что возвращение к старым работам понадобилось лишь для того, чтобы наказать его за «строптивость».

Муралов обвинял Кольцова в том, что он призывал к насильственным бракам для выведения различных пород людей. Однако в той же статье, на которую ссылался Муралов, Кольцов подчеркивал: «Современный человек не откажется от самой драгоценной свободы — права выбирать супруга по своему собственному выбору, и даже там, где существовала крепостная зависимость человека от человека, эта свобода была возвращена рабам ранее отмены всех других ограничений личной свободы»²⁴.

«Выведение» особых пород людей теми же методами, которые применяются в животноводстве, могло бы, по мысли Кольцо-

ва, проводиться разве что марсианами из «Войны миров» Г. Уэллса. «Марсианин, вооруженный знанием законов наследственности и желая быстро провести подчинение человечества, сразу истребил бы всех непокорных, не желающих подчиниться тяжелым условиям рабства, и не только их самих, но и всех их детей»²⁵. Слова Кольцова, относящиеся к 1922 г., кажутся мрачным пророчеством, но пройдет всего несколько лет, и эту страшную роль возьмет на себя Сталин.

Попытки Муралова использовать цитаты из евгенических работ в качестве аргумента в полемике против генетики вызвали резкий протест Кольцова. Он решил написать ответ Муралову. Однако в это время состоялось заседание актива ВАСХНИЛ (26—29 марта 1937 г.), на котором Кольцов вновь подвергся ожесточенным нападкам. Возможно, поэтому ответ Муралову²⁶ остался неоконченным.

Мн[огоуважаемый] А[лександр] И[ванович]
(...) Познакомившись с протоколом заседания Президиума от 16 января я вижу, что мое письмо к Вам по поводу сессии оказалось весьма полезным для обеих сторон. Президиум в его полном составе убедился, что и в его среде существуют разногласия по поводу того, действительно ли результаты декабрьской сессии были положительными и действительно ли резолюция Президиума отразила мнение всего собрания. Ведь сказал же Н. И. Вавилов, что под моим письмом подписалось бы 2/3 всех присутствовавших. А ведь мы на всех массовых собраниях собираем массы не только для того, чтобы поучать их, но и для того, чтобы выяснять их мнение.

Я охотно повторно признаю, что мог ошибиться в подсчете того, сколько раз Вы употребили слова «дарвинизм» и «Лысенко» в своей резолюции, так как мой счет не сходится со стенограммой. Но в стенограмме моих выступлений на съезде было очень много пропусков, и один из Ваших слушателей определенно уверял меня, что по его подсчету также эти слова были произнесены Вами по несколько раз. Но это, конечно, мелочи.

Мне было очень приятно убедиться в том, что Президиум не относит всю генетику к области «антидарвинистических тенденций». Но эти «антидарвинистические тенденции» нашел акад. Мейстер у тех двух

²² Дубинин Н. П. Вечное движение. М., 1975. С. 70.

²³ Там же. С. 68.

²⁴ Кольцов Н. К. // Русск. евгенический журн. 1922. Т. 1. № 1. С. 9—10.

²⁵ Там же. С. 9.

²⁶ Архив АН СССР. Ф. 450 Оп. 3а. Ед. хр. № 6. Л. 10—13.

генетиков, которые являлись основными докладчиками на сессии: у Меллера и Вавилова; и мое опасение, что такое определение может быть распространено на всю генетику, так как сведения, поступавшие с периферии, где судили по газетным отчетам, были и продолжают оставаться угрожающими в этом смысле. На заседании Президиума было принято постановление, что через короткое время акад. Мейстером будет сделано разъяснение в прессе в этом смысле, и я надеюсь, что это решение будет приведено в исполнение. Я был очень удовлетворен и тем разъяснением, что в намерения Президиума вовсе не входило разгромить генетику. Прав был Н. И. Вавилов, заметивший, что разгромить такую точную науку, как генетику, невозможно. «Сие от нас не зависит». В Советском Союзе значение науки оценивается очень высоко, но согласитесь, что и здесь могут быть кое-где — и в прессе, и на периферии — некоторые искажения и ответственность за «антидарвинистические тенденции» отдельных генетиков может быть распространена и на всю генетику.

Теперь о моих собственно антидарвинистических тенденциях или о моем «мракобесии», как выразились Вы в своем личном письме ко мне. Во-первых, все те мои высказывания, на которых Вы останавливаетесь, основаны не на генетике, а на чистом дарвинизме и могли бы — за исключением одного-двух терминов, которые можно было бы и опустить без нарушения смысла — быть сделаны и в прошлом столетии при жизни Ч. Дарвина. Генетика тут решительно ни при чем. Искусственный и естественный отбор, борьба за существование, наследственные и ненаследственные изменения — все это понятия, которыми оперировал и Ч. Дарвин. Я бы мог показать на цитатах из Дарвина, что у него все это было. Но я не буду этого делать, так как считаю, что оперирование цитатами, текстами есть один из самых плохих методов дискуссии, придающий дискуссии характер схоластических споров. Из книги любого автора можно выбрать фразу, или часть фразы, которые докажут все что угодно. Я не верю, что Вы сами занимались вытаскиванием из моих сочинений отдельных фраз, которые в связи с общим текстом имеют совсем иной, часто противоположный смысл. Вероятно, эти фразы Вам подсунил кто-нибудь из моих многочисленных неразборчивых на средства недоброжелателей. Я не забочусь о мнении этих господ, но Вам лично мне хотелось бы дать разъяснения.

Эпидемии во всем животном и растительном мире являются фактором отбора,

благодетельным в расовом смысле. Это одно из основных положений дарвинизма, а не только генетики. Заключительная фраза «Происхождения видов» Ч. Дарвина гласит: «Таким образом, из этой свирепствующей среди природы войны, из голода и смерти непосредственно вытекает самый высокий результат, который ум в состоянии себе представить — образование высших форм жизни». Тот, кто вычеркнет эту фразу из сочинений Дарвина, является, конечно, антидарвинистом; если он эволюционист, он может назвать себя ламаркистом, или как-либо иначе, но он не дарвинист, так как нельзя представить себе дарвинизма, отрицающего естественный отбор.

На практике все селекционеры пользуются искусственными эпидемиями, чтобы отобрать расы культурных растений, устойчивые к тем или иным инфекциям, и Вы прекрасно знаете, какое практическое значение имеют эти работы для нашего растениеводства.

Конечно, человек стремится идти другим путем в борьбе с инфекционными заболеваниями и в ряде случаев ему в настоящее время это удается, благодаря качественному отличию человеческого общества от популяции животных. Это качественное отличие человека отнюдь не упускалось мною из виду, а наоборот, многократно подчеркивалось в той же статье, откуда взяты инкриминируемые мне строки об эпидемиях. Я определенно говорю, что «с сыпным тифом гораздо проще бороться гигиеническими мерами против распространениявшей, а с оспой путем прививок». Но ведь сознательная борьба с инфекциями — результат научных достижений немногих десятилетий, а в течение десятков тысячелетий человеческий род, подобно животным и растениям, боролся с эпидемиями так же, как животные и растения, — путем отбора. Да и теперь так ли мы самоуверенны, чтобы сказать, что умеем бороться со всеми эпидемиями и не нуждаемся в хороших наследственных конституциях, чтобы противостоять инфекционным заболеваниям? С распространением гриппа мы до сих пор не умеем бороться, и вспышки эпидемий гриппа, инфлуэнцы, испанки на нашей памяти очень часты и за последние десятилетия унесли в Европе и в Америке больше жертв, чем холера, против распространения которой человек научился бороться. До тех пор пока наука не овладеет всеми инфекционными заболеваниями, они будут играть и в человечестве роль фактора дарвиновского естественного подбора — желаем мы этого или не желаем.

Свои взгляды на евгенику Кольцов изложил также на собрании актива ВАСХНИЛ, посвященного итогам Пленума ЦК ВКП(б) (23.II — 5.III 1937). На этом Пленуме, как известно, Сталин выдвинул тезис об обострении классовой борьбы по мере строительства социализма, ставший обоснованием массовых репрессий в стране. Он недвусмысленно дал понять, что время дискуссий и сколько-нибудь рациональных аргументов прошло: «...в борьбе с современным троцкизмом нужны теперь не старые методы, не методы дискуссий, а новые методы выкорчевывания и разгрома»²⁷. После Пленума по всей стране развернулись собрания, на которых изобличались враги народа, вредители, «троцкистские агенты мирового фашизма». Не стала исключением и ВАСХНИЛ. В своей речи на собрании актива академии (26.III 1937) ее президент Муралов вновь обрушился на «политические вредные» теории Кольцова и Н. М. Тулайкова²⁸. Выступившие в прениях расценили взгляды Кольцова как «прямую контрреволюцию» и призвали перестать с ним «нянчиться»²⁹.

Поскольку в выступлении Кольцова на активе ВАСХНИЛ содержались детальные предложения по перестройке практической деятельности академии, а также опять обосновывались положения, высказанные им в письмах Муралову, стенограмма его доклада публикуется нами в сокращении³⁰. Из доклада видно, что Кольцов сознавал: критике подвергается вовсе не евгеника, от которой он давно отошел, а генетика в целом.

...Я написал в письме, что в резолюции о генетике не было упомянуто и ей, вероятно, пришлось фигурировать под названием «антидарвинистических тенденций». Это выражение взято из опубликованной речи акад. Мейстера, на которую сослался А. И. Муралов, и применено к обоим основным докладчикам по генетике: Вавилову и Меллеру. Проф. Меллеру приписаны антидарвинистические тенденции на том основании, что он будто бы признает гены неизменными. Такое обвинение возводится на Меллера, который первый в мире своими блестящими экспериментами с воздействием рентгеновских лучей доказал с полной досто-

верностью и математической точностью, что гены могут быть изменены³¹. Ведь получается то же, как если бы Галилею приписали утверждение, что Земля стоит на месте, а Солнце движется вокруг нее! Меллера я видел на другой день после окончания дискуссии: у него был совершенно измученный вид. Я не удивляюсь, что он отправился в Мадрид, он там успокоится³². Я приветствую его отъезд не только потому, что он отправился помогать республиканцам, но и потому, что на этой работе он успокоится...

А. И. Муралов в ответном письме обвиняет меня в том, что я против массовой дискуссии. Но ведь это не дискуссии, если только позволяют слушать, а не говорить и даже не позволяют собравшимся принять участие в выработке выводов, резолюции. По нашей новой Советской конституции вводится тайное голосование. Конечно, научные вопросы не решаются голосованием, но спросит собрание, согласно ли оно с предложенной Президиумом итоговой декларацией, было необходимо. А этого сделано не было.

А в результате, каково положение тех генетиков и селекционеров, которые не были на сессии и могли судить о дискуссии лишь по газетным отчетам? Ведь никто не может оспаривать того факта, что газеты информировали о дискуссии неправильно...

Я глубоко убежден, что я прав, и ни одного слова из своего письма я не беру назад, считая, что в нем была именно та критика, к которой нас ЦК теперь призывает. Как я уже писал в своем письме, если бы я этого не сделал, я считал бы себя глубоко виноватым перед Советским Союзом. Я писал, я должен это сделать, хотя и предчувствую, что в результате моего выступления кто-нибудь, может быть, оболвет меня грязью. Так это и случилось, и вы меня обливаете.

Муралов. Это за хорошие вещи. Кольцов. А мне кажется, что это наказание за строптивость, и в таком случае это очень похоже на зажим критики.

Теперь позвольте перейти к обвинениям. Меня обвиняют на основании нескольких выдернутых цитат из моих статей 1922—1923 года.

(С места: И этого достаточно.)

Кольцов. Я обязуюсь из любого ме-

²⁷ Правда. 1937. 29 марта. С. 2—4.

²⁸ Тулайков Н. М. (1875—1938) — видный агроном, академик АН СССР (1932) и ВАСХНИЛ (1935). Репрессирован вскоре после этого собрания.

²⁹ Бюлл. ВАСХНИЛ. 1937. № 4. С. 8—30.

³⁰ Архив АН СССР. Ф. 450. Оп. 4. Ед. хр. № 101. Л. 1—54.

³¹ Г. Меллер открыл явление индуцированного мутагенеза в 1927 г. и был удостоен за эту работу Нобелевской премии в 1946 г.

³² В сентябре 1933 — марте 1937 г. Г. Меллер работал в СССР, в 1937 г. участвовал в гражданской войне в Испании на стороне республиканцев.

сячного комплекта «Правды» или «Известий» выдернуть некоторое количество таких фраз, которые вы сочтете контрреволюционными. От литературных статей нельзя требовать такого же стиля, как от научных трудов. А ваши цитаты взяты не из моих научных трудов, а из литературных статей. Из общего текста превосходных фельетонов моего тезки Михаила Кольцова вы можете порою выдернуть такие отдельные фразы, от которых у вас волосы встанут дыбом.

Мне ставится в великую вину фраза о том, что если бы помещики-рабовладельцы знали менделизм, они смогли бы вывести различные породы людей. Но в какой связи стояла эта выхваченная фраза? Я рассматривал вопрос о том, можно ли ту методику, по которой мы проводим искусственный подбор в животноводстве, распространить и на человека, и применил тот литературный прием, который носит название «*reductio ad absurdum*». Я доказывал, что это практически невозможно, а если возможно, то лишь при фантастических условиях. Я писал: представьте себе, что придут на землю марсиане (по Уэллсу), которые стоят настолько выше человека по социальной структуре и по могуществу, что смогут превратить людей в домашних животных, как человек корову и лошадь. Тогда искусственный подбор человека был бы возможен. Что это контрреволюция или допустимая литературная фантазия?

Презент. Почему у вас фантазии в сторону фашизма?

Кольцов. Необходимо было поставить тот самый вопрос, который теперь ставят фашисты, но решить его не так, как решают фашисты. Они говорят, что можно насильем создать породы людей, а я говорю — нельзя, а если было бы теоретически возможно, то лишь для марсиан или при рабовладельчестве.

(...) Перехожу к вопросу о преступниках.

Акад. Муралов. Я вам ничего о преступниках не писал.

Кольцов. Нет, писали, это пункт третий ваших обвинений (читает) «представитель активного типа имеет абсолютную генетическую ценность вне зависимости от временного фенотипического образа мыслей». Вы читали, А. И., «Педагогическую поэму» Макаренко?

Акад. Муралов. Нет, такой вещи не читал.

Кольцов. Этот автор описывает, как грабители, воры, убийцы...

Акад. Муралов. Там совсем не это описывается. (В зале шум.)

Кольцов. ...переделывались в стахановцев, инженеров и техников.

Акад. Муралов. Я не об этом вас спрашивал, а о меньшевиках и большевиках.

Кольцов. Фразу о меньшевиках и большевиках я взял из статьи вашего партийного товарища, напечатанной в советской газете³³. Редакция не нашла в ней тогда, очевидно, ничего предосудительного. Я не отношусь к таким генетикам, которые не признают влияния среды на развитие фенотипа. Среда, а не генотип определяет образ мыслей человека. Ведь мы теперь не отмщаем детям за преступления родителей. Дети по наследству от родителей получают не образ мыслей, а жизненную энергию, активность. Не надо забывать, что Муравьев-вешатель и Муравьев-повешенный были из одной семьи, близкими родственниками.

Вот, что я хотел сказать. Я не отрекаюсь от того, что говорил и писал, и не отрекусь, и никакими угрозами вы меня не запугаете. Вы можете лишить меня звания академика, но я не боюсь, я не из робких. Я заключаю словами Алексея Толстого, который написал их по поводу, очень близкому данному случаю, — в ответе цензуре, пытавшемуся запретить печатание книги Дарвина.

Брось, товарищ, устрашенья,
У науки нрав не робкий.
Не заткнешь ее теченья
Никакою пробкой!³⁴

Презент (с места). Это нам надо говорить.

Кольцов. И вам, и мне, и всякому, кто отстаивает правоту своих научных воззрений.

После актива ВАСХНИЛ началась травля Кольцова в газетах...

(Окончание следует)

³³ В статье «Генетический анализ психических особенностей человека» (Русск. евгенический журн. 1923. № 3—4. С. 266) Н. К. Кольцов ссылался на мнение Н. А. Семашко, утверждавшего, что меньшевики и большевики отличаются не только своими политическими взглядами, но и самим темпераментом, жизненной активностью.

³⁴ Н. К. Кольцов намеренно неточно цитирует А. К. Толстого, в оригинале:
Брось же, Миша, устрашенья,
У науки нрав не робкий.
Не заткнешь ее теченья
Ты своей дрянною пробкой!

С. Лем



Стратегии паразитов, вирус СПИДа и одна эволюционная гипотеза



Предваряя кратким вступлением статью С. Лема о СПИДе, написанную специально для «Природы», нельзя не вспомнить, что знаменитый польский писатель — врач по образованию. В юности он мечтал учиться в политехническом институте, но по настоянию отца, отоларинголога, поступил в Львовский медицинский. Заканчивал свою учебу Лем в 1948 г. уже на медицинском факультете Ягеллонского университета в Кракове, куда после войны переехала из Львова его семья. Однако практикующим врачом он работать не собирался и даже не стал получать диплома, объясняя это, впрочем, таким образом: «Так как выпускников призывают на службу в армию, и к тому же не на год или два, а насовсем, я решил не сдавать последнюю сессию»¹. Другой причиной, по-видимому, было смещение интересов Лема в сторону фундаментальных проблем биологии, в частности увлечение теорией эволюции, которому предстояло в дальнейшем стать важнейшей доминантой его творчества, и научно-философского, и собственно литературного [см., напр., его очерк «Принцип разрушения как творческий принцип», опубликованный в № 9 «Природы» за 1987 г.].

Вспоминая университетские годы, Лем рассказывает, как ему удалось однажды провести цензуру и напечатать в журнале «Жизнь науки», издававшемся в Кракове Науковедческим кружком, такой обзор «дискуссии» между представителями «мичуринского учения» и гонимыми вейсманистами-морганистами, из которого вырисовывалось истинное положение дел. Последовали громы и молнии, журнал в конце концов был переведен в Варшаву, прекратил свое существование и Науковедческий кружок.

Ясное понимание ситуации в советской биологии, которая рикошетом била и по польским ученым, заставило Лема тогда же отказаться от возникшей было мысли перейти на биологический факультет. «На дворе, — вспоминает он, — стоял лютый мороз сталинизма; я уже знал, что то, чему я могу научиться на биологическом факультете, — не биология, а магия и шаманство Лысенко»².

Первый роман Лема назывался «Больница Преображения». Его первой опубликованной научной работой была «Этиология новообразований» [1947]. И вот, спустя четыре десятилетия, он снова обращается к истокам своих ранних размышлений, теперь уже в связи с пандемией СПИДа. Постоянный читатель «Природы» найдет в очерке Лема многое из того, о чем уже писалось в журнале. Но, естественно, и это сразу же подкашивает название очерка, описание особенностей вируса СПИДа для автора не самоцель. В заключительной части Лем предлагает оригинальную эволюционную гипотезу, которая вызвала к себе неоднозначное отношение биологов уже при подготовке перевода к печати и которую по просьбе редакции комментирует известный советский вирусолог Т. И. Тихоненко.

¹ См.: Беседы с Лемом // Студенческий меридиан. 1988. № 12. С. 41.

² Там же.

Если, сознательно преувеличивая, заявить, что человек — это паразит земной биосферы, которому она как его «хозяин» доставляет всю необходимую для его существования энергию и материю, то нетрудно заметить, что оптимальная адаптация вида не совпадает с максимальной активностью его экспансии.

В ходе научно-технической революции, хотя и не желая того, способствовали расширению дыры в озоновом слое атмосферы, оберегающем жизнь от избытка ультрафиолетового излучения, отравили множество пресноводных озер и рек, довели некоторые моря почти до состояния биологической смерти, засолили почвы на огромных пространствах и выбросили в атмосферу примеси вредных газов и соединений, что, в свою очередь, повлекло за собой вымирание лесов. Точно так же паразит, который достиг бы в использовании жизненных сил хозяина максимальной эффективности и (научившись преодолевать его иммунитет) максимального уровня вирулентности, — такой паразит был бы «стопроцентно эффективным», коль скоро вид растений или животных, служащих ему жизненной средой, не смог бы от него защититься; но такая «абсолютная эффективность», равнозначная стопроцентной смертности, привела бы к быстрому исчезновению организмов-хозяев, а с ними — и их паразитов.

Поэтому такой вирулентностью могут обладать лишь сравнительно молодые в эволюционном отношении паразиты. Если они действительно одерживают «полную победу» над сопротивляемостью хозяев, то гибнут вместе с целыми их популяциями. На поле эволюционного боя остаются, следовательно, такие разновидности паразитов, такие мутанты, которые не вызывают слишком уж высокой смертности своих хозяев. После многочисленных странствий паразитов через все новые поколения хозяев обычно наступает динамическое равновесие, особенно там, где речь идет о возбудителях болезни бактериального типа или близкого к нему. В таком случае медицина констатирует определенную среднестатистическую смертность при данном заболевании, которая, впрочем, может колебаться в тех или иных пределах из-за появления все новых мутантов. Паразиты небактериального типа, накопившие большой эволюционный опыт (запечатленный в их генотипах), иногда — если их число в организме одного хозяина **чрезвычайно велико** — как бы щадят организм, в котором живут.

У людей, подвергшихся заражению разнообразностью паразита, с которой ранее им не приходилось встречаться (обычно — из-за географической изоляции), реакция на прибывших издалека паразитов может оказаться гораздо более резкой, чем у тех, кто с давних пор подвержен инфекции подобного типа. Говорят, что насморк, который испанские конкистадоры завезли в Америку, оказался сущим бедствием для туземцев.

О том, как ведут себя болезнетворные вирусы, мы знаем уже немало благодаря успехам, которых достигла за последние 10—20 лет молекулярная биология. Вирусы можно рассматривать как промежуточную форму между живой и неживой материей. Однако возникнуть они могли лишь после начала биогенеза на Земле — неполных четырех миллиарда лет назад. Ведь это последовательности генов, которые не могут воспроизводить себя сами. Для репликации им необходим «ферментативный аппарат» клеток хозяина.

Обычно вирус имеет оболочку со встроенными белками, которая позволяет ему, благодаря серии биохимических процессов, вторгаться в строго определенные клетки хозяина, т. е. избирательно: различные клетки «привлекательны» для различных вирусов. После вторжения вирус приводит в действие свою генетическую программу, нередко таким образом, что вводит собственные гены в геном хозяина. При этом одни вирусы содержат ДНК, а другие — лишь РНК. Обычно РНК выступает в роли «курьера», переносщего информацию, содержащуюся в ДНК. До открытия ретровирусов догмой молекулярной биологии была необратимость направления этого синтеза. Но ретровирусы содержат одностратную РНК, которая, будучи переписана в ДНК, способна встраиваться в геном хозяина и пребывает там в качестве провируса вплоть до момента активизации (не все «пусковые механизмы» которой достаточно хорошо известны).

Если геном вируса состоит из РНК, он должен содержать в себе также особый фермент — обратную транскриптазу, которая изменяет нормальное для всех клеток направление передачи информации на противоположное. Когда провирус создает копию соответствующей ДНК, используя при этом метаболизм хозяина, он получает «власть» над его клеткой. В зависимости от того, какой это вирус, он может стать причиной новообразований, в том числе лейкемии (которая тоже представляет собой новообразование), но может также — и это,

увы, своего рода «рекордное» достижение в истории эволюции вирусов — прежде всего атаковать ключевые звенья иммунной системы хозяина. В таком случае хозяин гибнет от любой инфекции, поскольку уже не располагает данными ему природой средствами иммунной защиты.

Болезнетворным вирусам, как и бактериям, после вторжения в организм требуется какое-то время на «мобилизацию», чтобы начать атаку, т. е. вызвать болезнь. Это время (инкубационный период) составляет обычно несколько дней или недель. Но существует особая группа вирусов, использующая стратегию иного рода. Эти вирусы начинают атаку постепенно и скрытно, так что начало иммунного коллапса задерживается на целые годы; когда же коллапс, наконец, наступает, он уже необратим и неизлечим. Благодаря столь продолжительной фазе скрытого, латентного развития такие вирусы — лентивирусы («lente» на латыни означает «медленно») — в наивысшей точке своей агрессии могут вести даже к стопроцентной смертности хозяев. Ведь прежде чем хозяин погибнет, он успеет заразить немало здоровых особей, и это обеспечивает выживание вируса.

Итак, мы имеем дело с новой стратегией паразитов. Новой, быть может, не в том смысле (как я постараюсь показать ниже), что она встречается впервые на протяжении миллиардов лет эволюции, но новой в эпоху, ознаменовавшуюся возникновением человека — «виновника» научно-технической революции.

Лет тридцать назад была выдвинута гипотеза, согласно которой старение и смерть вызываются разновидностью лентивирусов, которые активизируются лишь после прекращения родительских потенций организма, когда все, происходящее в нем, уже не регулируется естественным отбором. Медицине и биологии известно множество опасных и даже смертельных заболеваний, появляющихся как раз в последний период жизни. Недавно удалось обнаружить ген старческого слабоумия, так называемой болезни Альцгеймера. Однако сведения всех процессов старения к активизации затаившихся лентивирусов представляется сомнительным. И дело не только в том, что старение и гибель вызываются множеством разных факторов, но и в том, что смерть очередных поколений многоклеточных организмов необходима для продолжения прогрессирующей эволюции. Если бы уже бактерии и водоросли обладали способностью безошибочной репликации, то ничто,

кроме них, не смогло бы заселить океаны, континенты и атмосферу Земли.

Зато, к сожалению, не подлежит сомнению, что виновником пандемии, обнаруженной около 1981 г. (которая, как следует из экстраполяции кривых роста заболеваемости, началась где-то между 1950 и 1960 гг.), был первый известный науке ретровирус человека из группы лентивирусов. Он получил название вирус иммунодефицита человека, ВИЧ. Это был возбудитель СПИДа.

II

Немецкий психолог Дитрих Дернер составил перечень медико-биологических проблем, решать которые труднее всего. Вот их характерные признаки, в несколько модифицированном мною виде:

- 1) большое абсолютное число случаев;
- 2) экспоненциальный рост;
- 3) особенно длительный скрытый, латентный период, при котором целые годы отделяют причину от следствий;
- 4) крайне трудно поддающиеся выявлению побудительные причины;
- 5) особое место в эмоциональной жизни человека при отсутствии альтернативного поведения, которое гарантировало бы полную безопасность (в случае СПИДа: человек не может существовать без сексуальных отношений, а вирус передается преимущественно этим путем);
- 6) абсолютная новизна проблемы;
- 7) сложная причинно-следственная структура явления типа «сети»;
- 8) вероятностная неопределенность последовательности неблагоприятных событий; в результате эта последовательность необратима;
- 9) чрезвычайно растянутая во времени «петля обратной связи»;
- 10) неэффективность ранее испробованных методов решения подобного рода проблем.

Эти десять пунктов показывают, перед сколь серьезными проблемами ставит нас ВИЧ; можно было бы подумать, что его породило чье-то необычайно изощренное коварство.

Считается, что впервые этот вирус появился в Африке, в организмах зеленых макак, для которых он, кстати говоря, не опасен. При своем размере в 1000 Å (т. е. 100 тыс. вирусов, вместе взятые, не толще человеческого волоса) он проникает в организм вместе с кровью, спермой или молоком матери, а его гены (благодаря обратной транскриптазе) проникают в геном человеческого организма и остаются там как бы в ук-

рытии. Ибо с того момента, когда геном вируса проникает в геном человека, он уже не распознаваем и не может быть уничтожен какими-либо медицинскими средствами.

Согласно Роберту Галло, вирус активизируется, когда лимфоцит, в котором он пребывает, начинает реагировать на какую бы то ни было инфекцию. Это все равно, как если бы кто-нибудь перекрыл все пожарные краны и опорожнил все цистерны с водой возле дома. В таком случае даже тлеющий окурочок может вызвать пожар, в котором сгорит весь дом до самого фундамента, — ведь пожарная команда совершенно беспомощна.

Факторы, позволяющие вирусу проникать в организм, а особенно то, что происходит в латентный период, составляющий пять лет (плюс-минус три года), известны еще недостаточно.

Новизна стратегии ВИЧ как раз и заключается прежде всего в необычайной длительности латентного периода. Появление вирусов в крови приводит к образованию антител, которые, однако, неспособны успешно справиться с незванным гостем.

ВИЧ отличается высокой способностью к мутациям: в организме одного больного можно обнаружить два или даже три разных мутанта вируса. Подобная мутабельность свойственна многим вирусам, например вирусам обычной простуды (риновирусам) и гриппа. Изменчивость вируса простуды так велика, что делает невозможным создание защитных вакцин. С гриппом дело обстоит несколько лучше.

В принципе все мутации — это следствие либо ошибок в процессе репликации ДНК или РНК, либо их прямого повреждения при воздействии внешних факторов. Если число ошибок превышает уровень, критический для данной последовательности генов, стабильность передачи информации резко падает, словно бы она вдруг «растаяла». Мутант уже не может сохраниться в популяции. Это напоминает фазовый переход в физике, например переход при критической температуре из твердого состояния в жидкое. А возникновение в спектре мутантов разновидностей, конкурирующих с доминировавшей ранее последовательностью, напоминает самосинхронизацию так называемых лазерных мод при возникновении стоячих волн в оптическом резонаторе (что повышает монохроматичность излучения).

ВИЧ, разумеется, не возник как нечто изолированное. Он относится к той же группе ретровирусов, что и вирусы, вызывающие лейкемию; их первое «воплощение» — вирус куриной саркомы — открыл в 1909 г.

Пейтон Раус. Молекулярная биология позволяет моделировать эволюцию простых вирусов. Правда, ВИЧ не настолько прост. Его геном, состоящий из 9500 нуклеотидов, встречается во множестве разновидностей, отличающихся одна от другой несколькими десятками, а то и тысячей пар нуклеотидов. Столь высокая мутабельность ведет к изменению оболочки вируса, а тем самым, к изменению антигенных свойств («антигенный дрейф», осложняющий защитную реакцию антител). Вирус, однако, сохраняет способность к выживанию, и это наводит на мысль, что интенсивность его мутаций близка к критической, однако не достигает ее. ВИЧ, таким образом, настолько хорошо приспособлен к организму хозяина агрессор, что заслуживает дарвиновского титула «наиболее приспособленный» (the fittest).

Патогенность означает **автономизацию** вируса, который «захватывает власть» над геномом хозяина, действуя при этом различными способами. Он может, например, воздействуя на лимфоциты, вызывать лейкемию; именно так поступают вирусы HTLV-I и HTLV-II (H означает *humanus*, т. е. человеческий). Аналогично действуют FeLV — вирусы кошачьей лейкемии и открытый недавно BoTLV (Bo — *bovinus*) — вирус, поражающий крупный рогатый скот. Заставляя лимфоциты активно размножаться (такова их реакция на инфекцию), вирусы тем самым увеличивают свою собственную популяцию. Впрочем, эти ретровирусы, существующие давно, но лишь недавно открытые, не отличаются особой заразностью. Между тем ВИЧ, называемый также HTLV-III — настоящий «рекордсмен». Он необычайно заразен; размножается на первых порах медленно; благодаря антигенному дрейфу «ускользает» от антител; внедряется в геном хозяина, делая здоровый с виду организм разносчиком болезни, и вместо того чтобы способствовать размножению лимфоцитов (как вирус лейкемии), **уничтожает их**. Тем самым он выводит из строя всю иммунную систему хозяина. Через пять-восемь лет больной СПИДом оказывается в критическом состоянии. Итак, этот вирус достиг высокой эффективности адаптации, основанной на стратегии нового типа: он не вызывает **конкретную** болезнь, но делает организм беззащитным перед лицом **какой угодно** болезни.

При гриппе или простуде мы имеем дело с вирусами, мутации которых в конечном счете носят кругообразный характер: различные разновидности вируса повторяются, а значит, его мутационная изменчивость имеет свои пределы. Зная, с каким имен-

но вирусом гриппа мы имеем дело в данном году и в данной популяции людей, нельзя предсказать, какой тип мутантов появится в следующем году: в соответствии с главной идеей Дарвина, изменчивость носит случайный характер, а следовательно, непредсказуема.

Мутанты образуют спектр разновидностей, вероятность выживания которых неодинакова, и естественный отбор отсеивает наименее приспособленных. Но если речь идет о вирусах с таким прошлым, как эволюционно «старые» вирусы гриппа или лейкемии, мутанты могут существовать одновременно или сменять друг друга как бы по кругу, поскольку их способность к адаптации одинакова или почти одинакова.

Почему латентный период вируса СПИДа столь продолжителен, почему этот вирус способен так быстро мутировать, не утрачивая при этом своей вирулентности, почему он нацелен прежде всего на клетки, в мембране которых содержится белок Т4, почему его латентный период составляет в среднем именно пять лет, — всего этого мы не знаем. Были открыты многочисленные разновидности ретровирусов, атакующих домашних животных, а раньше медицина их не замечала — ибо находят обычно лишь то, что ищут.

Экспоненциальная экспансия вируса не является его «заслугой»: она вытекает из реалий современности. Сначала вирус поражает «группы повышенного риска» (наркоманы, гомосексуалисты, больных гемофилией — при переливании крови и т. д.). «Разрежение» этих групп ведет к замедлению экспансии, но не к ее остановке. Посредством людей, поддерживающих как гомо-, так и гетеросексуальные контакты, а также вследствие случайных событий вирус проникает в «нормальные» группы общества. Темп его дальнейшей экспансии зависит от психологических и социальных, а также политических факторов — если законодатели избегают энергичных профилактических мер, которые, казалось бы, нарушают гражданские права индивида. (Карантин в данном случае невозможен: он должен был бы длиться на протяжении практически всей жизни зараженных.)

Информационные кампании, сексуальная сдержанность и т. п. могут замедлить экспансию вируса, т. е. удлинить период удвоения числа зараженных. В ФРГ он составлял сначала восемь месяцев, теперь же — больше года. Но это по-прежнему экспоненциальный рост, только с меньшим показателем. А так как область сексуальных отношений — наиболее интимная из всех и так

как отказаться от них человечество не может, общественная медицина и законодательство стоят перед беспрецедентными дилеммами.

Я не хотел бы читать мораль, но цивилизация богатых государств Запада сама называет себя «вседозволяющей». Это означает ослабление прежних этических запретов и норм, «уравнение в правах» гетеро- и гомосексуальных контактов, превращение эротики в сферу коммерческих услуг; все это, в сочетании с быстротой передвижения людей по земному шару, в конечном счете делает почти весь мир превосходной питательной средой для распространяющегося вируса. Я думаю, что, если бы этот вирус появился сто лет назад, церкви назвали бы его карой господней за людские грехи и прежде всего — за грех распутства. Но не ради подобных сентенций писалась эта статья.

III

Не только журналисты, но и медики выражают свое удивление тем, что впервые в истории появился вдруг вирус, применивший против человека стратегию, отличную от стратегии других паразитов. Ведь даже для эпидемий средневековья, включая «черную смерть», холеру, не была характерна столь высокая смертность (которая в группах риска может достигать 100 %). Кроме того, было известно, что некоторые люди способны пережить любую из этих эпидемий и приобрести затем иммунитет; между тем при эпидемии СПИДа не отмечено ни **одного** такого случая.

Стратегия этого вируса и в самом деле кажется совершенно новой. Но я рискованно усомниться в том, что она встречается в природной эволюции впервые. Гипотезу, которую я хочу изложить, нельзя пока что проверить путем моделирования на ЭВМ; нельзя также найти хотя бы косвенного ее подтверждения в данных палеонтологии. Тем не менее я хочу предложить определенную версию событий геологического прошлого Земли в качестве возможной и допустимой. В самом ли деле никогда еще не было вируса, у которого продолжительный латентный период сочетался бы с максимальной вирулентностью? И можно ли представить себе условия, в которых появление вирусов подобного типа становится более вероятным? При помощи какой контрстратегии эволюция может защитить от их вторжения виды, которым угрожает наибольшая опасность?

Ключ к проблеме я вижу в словах: «виды, которым угрожает наибольшая опас-

ность». Это такие виды, популяции которых наиболее многочисленны и которые к тому же живут до такой степени скученно, что в области половых отношений имеет место панмиксия.

Сначала замечу (в скобках и предвзвешенно), что у многих млекопитающих, живущих стадно, настоящая панмиксия обычно не наблюдается. Иначе говоря, там нет такого положения, при котором каждый самец копулирует поочередно с каждой самкой: этому мешает иерархическая организация стада, регулирующая, в частности, спаривание животных.

Но если численность двуполых особей достигает десятков или даже сотен тысяч и если такой вид существует на протяжении миллионов лет, то при отсутствии копуляционных ограничений вероятность возникновения лентивирусов с максимальной «убойной силой» возрастает.

Если несколько игроков или несколько их десятков пробуют наудачу отгадать последовательность из шести цифр в лотерее, вероятность выигрыша будет ничтожной. Если, однако, в игре участвует значительная часть популяции — несколько миллионов или десятков миллионов, то почти всегда кто-нибудь угадает выигрышную последовательность. Так действует закон больших чисел при совершенно случайном распределении выигрышей. Но мутационное распределение эволюционирующих вирусов в конечном счете не является совершенно случайным. Разумеется, конкретных мутаций, т. е. ошибок в ходе саморепликации, предвидеть нельзя. Естественный отбор всегда поощряет выживание нейтральных мутантов, близких к доминирующей разновидности, причем сумма всех этих мутантов, как показали исследования (в частности, вируса бактерии, названного фагом Q β), превышает численность исходной, доминантной разновидности.

Из теории и опыта следует, что высокая численность данных мутантов в популяции неравнозначна их наибольшей адаптивной эффективности, даже если именно этих мутантов больше всего. Совокупность мутантов образует некий спектр. Мутанты, которые при репликации «рискуют больше всего» (число ошибок при репликации у них приближается к критическому значению), как раз и представляют собой наиболее подходящий материал для дальнейшей эволюции. Другими словами, дарвиновская формула «survival of the fittest» (выживание наиболее приспособленных), вопреки утверждениям антиэволюционистов, вовсе не таавтология, не высказывание типа «масляное всего на све-

те — масло». «Выживание» выражается в росте популяции подвергнутого отбору вида. А «наибольшая приспособленность» характеризуется эффективностью, которая зависит от динамических параметров и переменных системы, измеряемых независимо от численности популяции. Поэтому отбор не носит такого случайного характера, как ошибки при репликации (мутации).

В топологической модели естественный отбор «наводит», словно на цель, мутантов с особенно высокой эффективностью на своего рода вершины (причем пространство, в котором совершаются странствия мутантов, — неметрическое пространство; «расстояние» между отдельными мутантами вытекает из различий в их химическом строении, которое в то же время включает в себе репликационную информацию). Когда мы имеем дело не с количественно скромными моделями и не с простейшими паразитами бактерий, наподобие фагов, сложность происходящих мутаций и процессов отбора возрастает настолько, что ни рассмотреть их в целом, ни моделировать их математически, при помощи ЭВМ, мы еще не в состоянии.

Но вырисовывающаяся уже теперь картина позволяет нам понять, каким образом нечто совершенно случайное, вступая в информационно-химическую игру с окружением и «конкурентами», становится объектом стохастического управления. Здесь, однако, нам придется оставить рассмотрение эволюции вирусов с точки зрения молекулярной биологии и вернуться к обещанной выше гипотезе.

Уничтожение лентивирусами в наибольшей степени угрожало видам, живущим социально и практикующим панмиксию. Конечно, вероятность «выращивания» вируса СПИДа именно в «питательной среде» человеческих организмов была особенно велика не в последнюю очередь благодаря тому, что численность популяции людей уже превысила 5 млрд. (Если бы подобный вирус возник, например, 10 или 30 тыс. лет назад, он уничтожил бы какую-нибудь географически изолированную праобщность людей, но на этом его экспансия прекратилась бы.)

Тут следовало бы поставить вопрос: почему живущие социально насекомые — муравьи, пчелы, термиты, осы — в массе бесполое? Хотя филогенетически термиты не родственны ни муравьям (за которых их иногда ошибочно принимают), ни пчелам, и термиты, и пчелы, и муравьи образуют совокупности бесполой, беспособной к копуляции особей. В каждом пчелином рое, в каждом термитнике и муравейнике (а этих

насекомых тысячи видов) родительские функции осуществляет **одна-единственная особь, самка, один-единственный раз в году**, во время брачного полета, оплодотворяемая самцом, а потом оплодотворяющая яички его семенем, содержащимся в специальном *receptaculum seminis*. Разве в такой анатомии, физиологии и таком поведении не проявляется стратегия минимизации числа актов копуляции?

Быть может, если бы все особи данного вида имели пол и могли копулировать и размножаться, в результате такой панмиксии вероятность появления вирусов, вирулентность которых проявляется с большой задержкой и влечет за собой 100 %-ную смертность, приближалась бы к единице, что равнозначно гибели вида. Поэтому под давлением естественного отбора шел процесс устранения способных к размножению особей, однако без снижения численности популяции (ведь рой из пятидесяти пчел или муравейник из ста муравьев были бы нежизнеспособны).

Насекомые тоже имеют иммунную систему, хотя и отличающуюся от иммунной системы высших животных. Среди них также встречаются болезни, вызываемые паразитами, причем здоровые особи устраняют мертвых из улья или муравейника. Лентивирус, который существовал бы в латентном состоянии на протяжении значительного отрезка жизни муравьев, термитов или пчел, убил бы их **всех** — такая инфекция охватила бы все сообщество как пожар. Поэтому социальные двуполые пранасекомые вымерли.

Следует еще отметить, что вирус, хорошо приспособленный к хозяину, «заботится» об эффективной экспансии посредством репликации. Такой вирус, быстро перестраивая антигены своих оболочек, может «обманывать» иммунные клетки, убивать клеточные звенья иммунной системы или ослаблять эту систему в целом как-нибудь иначе; но слишком быстрая гибель хозяина или же быстрое уничтожение его иммунной системы — «не в его интересах». В интересах вируса (понимаемых, разумеется, как естественный отбор оптимальной стратегии выживания) может оказаться обращение иммунных способностей хозяина против **его собственного организма** в качестве своего рода «отвлекающего маневра». И это действительно случается. Я упоминаю и о такой возможности, потому что придет время, когда молекулярная биология будет не только оказывать помощь в изыскании действенных методов борьбы с вирусом СПИДа, но, кроме того, прогнозировать появление других опас-

ных для человека микроорганизмов или возбудителей болезней вирусного типа, которыми нас может огоршить природа. Предвидеть конкретное химическое и генное строение таких саморепликаторов невозможно, ведь движущая сила всеохватывающей изменчивости эволюции — случайность. Зато представляется возможным рассмотрение стратегий вирусов, направленной против человеческого организма, а значит, и поиски упреждающих контрстратегий.

Когда создаешь гипотезы, располагая вместо обширного фактического материала лишь ненадежными косвенными доказательствами, легко переборщить. Поэтому я отнюдь не собираюсь утверждать, будто грандиозный «завроцид» динозавров, имевший место примерно 65 млн лет назад, был вызван **вирусной пандемией**. Между прочим потому, что вирусы отличаются видовым разнообразием и нацелены на конкретные виды хозяев, а нелегко допустить такое близкое сходство геномов **всех** вымерших ящеров, при котором они подверглись поражению со стороны какого-нибудь **одного семейства** вирусов. К тому же история науки учит нас, что гипотезы, которые коротко и ясно объясняют **все**, не объясняют толком **ничего**.

Этот текст я хотел бы закончить следующим замечанием личного характера. Беседуя с доктором Михаэлем Кохом, координатором шведского центра исследований ВИЧ, я говорил, между прочим, о том, до чего же непредсказуемо было появление вируса именно с такими чрезвычайными опасными свойствами. Как заметил один из исследователей, «если он научится летать, нам всем крышка». (Действительно, вирусы простуды и гриппа распространяются воздушно-капельным путем, через органы дыхания, чего, к счастью, вирус СПИДа не умеет.)*

* В этой работе я не занимаюсь перспективами активной борьбы с эпидемией СПИДа. По понятным причинам, в том числе престижного характера, как в научной периодике, так и в газетах время от времени сообщают об очередном препарате или вакцине, имеющих целью борьбу с вирусом в организме уже зараженных людей или препятствующих заражению здоровых людей. К этим многочисленным сообщениям следует относиться, увы, весьма скептически. Вообще говоря, вирус можно либо обезвредить, прежде чем он проникнет в клетки, и тогдападению подвергается его гликопротеиновая оболочка, либо атаковать — уже внутри клеток — его транскрипционный фермент, обратную транскриптазу, которая «переписывает» вирусную РНК на ДНК, встраивающуюся в геном хозяина. Азидотимидин, одно из первых средств, примененных в клинической практике, конкурирует с обычными нуклеотидами, когда обратная транскриптаза вводит нуклеотиды в цепочку ДНК. Эта конкуренция может замедлить развитие инфекции: бу-

Кох ответил тогда, что я ведь предугадал возникновение таких вирусов в романе «Осмотр на месте» (к тому времени уже изданном в ГДР), где речь идет о передаваемых в процессе оплодотворения (инсеминации) «фертолетах», или летальных

генных фертилизаторах. (См.: Lem S. *Wizja lokalna*. Kraków, 1982. S. 162—165.) Всего удивительней то, что сам я этого «предсказания» не заметил.

Вступление и перевод с польского К. В. Душенко.

Еще немного о СПИДе и гипотезе С. Лема

В первой части своей статьи С. Лем с присущим ему энциклопедизмом рисует столь полную картину биологических и иммунно-генетических особенностей вируса СПИДа, что дальнейшие экскурсы в эту область здесь были бы излишни. Можно лишь дополнительно отметить, что уникальность каждого из свойств этого вируса часто сильно преувеличивается.

Так, иммунный ответ может быть полностью или частично подавлен при целом ряде вирусных инфекций, поражающих человека и животных. Этим отличается инфекционный процесс, вызываемый некоторыми иридовirusами, герпесvirusами, аренаvirusами, лейкозными лентивirusами.

Очень высокая летальность, достигающая 70—80 %, характерна для некоторых экзотических аренаvirusов (virusы Лассо, Мачупа и т. п.). Для virusа СПИДа 100 %-ная

летальность связана с разрушением защитной гуморальной системы лимфоцитов. В результате организм погибает от любой другой вирусной или микробной инфекции — это ярко описано у Лема. Однако хотелось бы подчеркнуть, что сам факт репликации virusа в лимфоцитах не ведет автоматически к их гибели. Родственные virusу СПИДа лейкозные лентивirusы человека HTLV-I и HTLV-II, реплицирующиеся в Т-лимфоцитах, наоборот, вызывают размножение лейкоцитов, а близкородственные лентивirusы обезьян STLV-III и STLV-IV, также размножающиеся в Т-лимфоцитах, оказываются нелетальными для их хозяев, хотя точный молекулярный механизм этих различий пока не установлен.

Заслуживает отдельного обсуждения пресловутый сексогенез virusа СПИДа, на долю которого приходится значительная часть «популярности» этого

virusа. Хотя гетеро- и гомосексуальные половые сношения (особенно последние) могут, действительно, служить для него входными воротами инфекции, их роль для патогенеза в ряде случаев оказывается сильно преувеличенной и в любом случае вторичной.

Переносчиком СПИДа является кровь, точнее, зараженные Т-лимфоциты, проникающие в организм через различные раневые поверхности.

Дело в том, что сам по себе virus СПИДа весьма неустойчив и быстро инактивируется во внешней среде, обладая сравнительно низкой заражающей способностью. Иное дело — зараженный лимфоцит, стабилизирующий и защищающий virus от воздействия неблагоприятных факторов и обеспечивающий его высокую «ядовитость». Гомосексуалисты особенно подвержены заражению СПИДом главным образом потому, что половой акт в такой

дучи включен в цепочку, азидотимидин делает невозможной дальнейшую транскрипцию, так как его молекула имеет «ложное окончание». Но тут наблюдается явление, напоминающее закон действующих масс в химии. Чтобы заблокировать функцию обратной транскриптазы, средство должно было бы характеризоваться гораздо большей химической близостью к той гидроксильной группе, которая в нормальных условиях позволяет создать фосфодизфирную связь. Этого азидотимидин сделать не в состоянии.

Будущее принадлежит либо соединениям, которые блокируют или уничтожают обратную транскриптазу (разумеется, без уничтожения клеток хозяина), либо веществам, которые инактивируют virus на раннем этапе, непосредственно перед его проникновением в организм (обычно с кровью). По-видимому, эта вторая задача не по силам вакцине, производимой уже известными методами. Такая вакцина должна быть п-ценностной, т. е. противодействовать всем существующим мутационным разновидностям virusа (его собственным гликопротеинам). Это необычайно трудно, а значит, маловероятно.

Биохимическая фирма «Гентех» в США сообщала о попытках «направить virus по ложному пути», «подсовывая» ему те самые протенны, которые находятся на мембране лимфоцитов Т4 и являются специфическими рецепторами virusа. Но тут опять вступает в силу явление, напоминающее закон действующих масс: «обмануть» можно некоторое число virusов, однако не все, а уже зараженные клетки организма служат им убежищем. Поэтому подумывают о протениподобных соединениях, более близких к гликопротеинам virusа, чем лимфоцитарные и макроцитарные клетки человеческого организма, с тем чтобы «заманивать virusы в ловушку». Это, по-моему, слишком просто и вряд ли может осуществиться именно таким образом. Лишь когда будет точно известна топологическая структура всего virusа, станет возможным синтез подобных лекарств; синтез средств, подогнанных «точно по мерке» возбудителя болезни, может оказаться реальным достижением молекулярной биологии.

модификации связан, как правило, с нарушением целостности покровов. Высокий процент зараженности проституток СПИДом коррелирует со степенью их поражения тривиальными венерическими заболеваниями, также нарушающими целостность кожных покровов. Но при нормальном характере половых связей между здоровыми в этом отношении партнерами опасность заражения СПИДом, даже если один из партнеров является носителем этого вируса, не так уже велика, хотя полностью не исключена.

Наконец, последняя особенность СПИДа состоит в том, что он относится к числу медленно развивающихся инфекций с длительным латентным периодом и огромным числом носителей вируса, которые представляют большую угрозу для окружающих (хотя среди самих носителей заболевает в среднем 10—20 %).

Однако латентность вирусной инфекции и большое число клинически здоровых вирусоносителей — широко распространенные качества многих вирусных инфекций и характерны, в частности, для герпесвирусов, вируса гепатита В и т. п.

Сложность борьбы с вирусом СПИДа заключается в том, что он соединяет в «одном лице» названные выше особенности, характерные для разных вирусов, в результате чего действительно получается некий супервирус. И если, как справедливо пишет Лем, «он еще научится летать (т. е. распространяться воздушно-капельным путем.— Т. Т.) — нам всем крышка».

Однако, исходя из вполне правомерной гипотезы о том, что вирус СПИДа человека произошел от близкородственного обезьяньего, можно думать, что особая его патогенность для нового хозяина — качество эволюционно молодое и эволюция приведет к его «гуманизации». Естественно, эту светлую перспективу следует воспринимать в масштабе исторического времени, что ни в коей мере не может служить утешением страдающему человечеству, которое видит свое спасение от «чумы XX века»

сегодня прежде всего в поисках эффективных средств лечения и профилактики.

Если говорить о собственно эволюционной концепции С. Лема, то коротко она сводится к гипотезе о том, что у социально живущих насекомых (пчел, муравьев, термитов) в незапамятные времена возник сильно патогенный латентный вирус, передающийся половым путем и не вызывающий образования иммунитета (так сказать, возбудитель муравьиного СПИДа), который в условиях промискуитета, беспорядочного спаривания с разными партнерами, мог вызвать исчезновение двуполой особи, закрепив репродуктивную функцию за одной-единственной маткой.

В этом случае следует говорить не только и не столько об эволюции вирусов, сколько об их эволюционной роли в развитии биосферы в целом и отдельных ее ветвей. Соображения о серьезном влиянии вирусов на эволюцию биосферы высказывались и ранее как автором данного комментария, так и рядом других ученых. Однако до сих пор вирусам отводилась роль посредников в передаче генов. Поэтому в целом мысль о вирусе, способном вызывать глубокие изменения генотипа хозяина в процессе его обобщидной эволюции, кажется и новой, и плодотворной.

Другое дело — конкретное приложение этой экспериментально не проверяемой гипотезы применительно к названным группам насекомых. Мне кажется, что, развивая свою точку зрения, Лем слишком буквально проецирует сексуальное поведение человека на насекомых и, кроме того, излишне «сексоцентрически» смотрит на заражение СПИДом. Вместе с тем следует признать, что если бы этот гипотетический вирус насекомых действительно обладал свойствами, приписываемыми ему Лемом, то эволюция системы «хозяин — паразит» вполне могла бы протекать по пути создания асексуального общества.

Затрагивая вопрос о промискуите вне человеческого сообщества, не следует забывать, что репродуктивные функции подавляющей части живот-

ного мира строго подчиняются сезонным ритмам, а это резко ограничивает число актов копуляции. Такой гормонально-физиологический регулятор сексуальной активности действует безотказно и успешно противостоит промискуиту. Так, для насекомых с продолжительностью жизни в один год сезонный акт копуляции превращается в «один раз в жизни».

Поэтому распространение вируса строго половым путем в условиях социально живущих групп насекомых вряд ли обеспечило бы ему роль мощного фактора селекции, способного повлиять на эволюцию этих таксономических групп. Таким фактором, закрепившим репродуктивную функцию за одной-единственной маткой, стала возможность получения генетически однородной популяции, поскольку этот способ репродукции по существу близок к клонированию, дающему идентичные копии организмов.

Как уже говорилось, в разрабатывавшихся до сих пор эволюционных построениях вирусы рассматривались лишь как возможные посредники в обмене генетической информацией в биосфере. Поэтому идея патогенного вируса как мощного фактора эволюции представляет несомненный интерес. И хотя сам по себе пример со спидоподобным вирусом насекомых кажется не вполне убедительным, хочется поблагодарить С. Лема за то новое направление мысли, которое он щедро подарил вирусологам и эволюционистам.

Т. И. Тихоненко,
доктор биологических наук
Москва

Космические исследования

Второй пилотируемый советско-французский полет

26 ноября 1988 г. в 18 ч 50 мин по московскому времени в Советском Союзе с космодрома Байконур был запущен космический корабль «Союз ТМ-7» с международным экипажем в составе: летчик-космонавт СССР А. А. Волков (командир), С. К. Крикалев (бортинженер), гражданин Французской Республики Ж.-Л. Кретьен (космонавт-исследователь)¹. Это — второй советско-французский пилотируемый полет и второй полет в космос французского космонавта Ж.-Л. Кретьена.

28 ноября «Союз ТМ-7» состыковался с орбитальным комплексом «Мир» и международный экипаж присоединился к космонавтам В. Г. Титову, М. Х. Манарову и В. В. Полякову.

Советско-французский проект «Арагац» включал 15 исследований и экспериментов в области космической биологии и медицины, космического материаловедения, а также технических экспериментов. Для выполнения некоторых из них А. А. Волков и Ж.-Л. Кретьен совершили выход в открытый космос. Прежде всего, в эксперименте «Эра» были проведены испытания по развеванию в открытом космосе ферменной конструкции, которая в будущем может служить платформой для различных антенн

или крупногабаритных сооружений. Конструкция из углепластиковых трубок с шарнирными соединениями из легкого металлического сплава включала 24 ячейки и в свернутом виде напоминала вязанку хвороста. Каждая ячейка состояла из 12 складных и 3 неразборных трубок диаметром 30 мм и толщиной 0,04 мм. По окончании развевания и поворота конструкция становилась похожей на шестигранную призму высотой около 1 м.

С помощью оптических и акселерометрических измерений определялись технические характеристики движения и формы конструкции. Она подвергалась механическому возбуждению (вибромрежим). На ней были установлены 21 вибро- и 10 температурных датчиков; информация о ходе испытаний записывалась на видео- и телеметрический магнитофоны, находящиеся внутри станции. После 10-минутного вибромрежима эксперимент «Эра» был завершен: по команде бортинженера термомониторы перерезали клеларовые нити и пружинный механизм произвел отделение ферменной конструкции от крепежной платформы.

Космонавты установили на внешней поверхности станции панель с образцами, предназначенными для дальнейшего изучения влияния факторов открытого космического пространства на различные конструкционные материалы (эксперимент «Образцы»), и аппаратуру для регистрации потоков микрометеоритов.

А. А. Волков и Ж.-Л. Кретьен провели в открытом космосе 5 ч 57 мин (ресурс скафандров 6 ч).

Были выполнены также технологические эксперименты «Амадеус», «Эркос». В первом велись испытания развевания внутри станции в условиях невесомости макета силовой кон-

струкции солнечного генератора, использующей шарнирные соединения нового типа «Карпантье» с уменьшенной силой тяжести. Применялась специальная система записи (две телекамеры с инфракрасной подсветкой, видеомагнитофон, блок электроники и т. д.).

В эксперименте «Эркос» исследовалось воздействие тяжелых ионов солнечного, галактического и внегалактического происхождения, проникающих внутрь орбитальной станции, на элементы электроники с высоким уровнем интеграции (например, интегральные микросхемы).

В эксперименте «Образцы» изучалось воздействие на различные материалы факторов открытого космического пространства — солнечного УФ-излучения, свободных атомов водорода, в значительном количестве имеющих на высоте полета станции «Мир», космических излучений, пыли, низких температур и т. п. Эксперимент предусматривает оценку длительного (не менее 6 мес) воздействия космической среды. В следующий выход в открытый космос космонавты снимут исследуемые образцы с внешней поверхности станции, а потом переправят их на Землю для дальнейших исследований.

Пять медико-биологических экспериментов преследовали общую задачу — изучение различных аспектов адаптации человеческого организма к условиям невесомости на разных стадиях полета.

«Эхография» — логическое продолжение исследований, начатых на станции «Салют-7» в 1982 г. во время работы первого советско-французского экипажа; этот эксперимент посвящен углубленному изучению состояния сердечно-сосудистой системы человека в космическом полете и получению максимально полных данных о процессах при-

¹ Дублирующий экипаж: летчик-космонавт СССР А. С. Викторенко (командир) и А. А. Серебров (бортинженер), гражданин Французской Республики М. Тонини (космонавт-исследователь).

способления организма к условиям невесомости. На станции установлен комплекс современной аппаратуры «Эхограф», разработанный и изготовленный во Франции в соответствии с последними достижениями медицинской техники.

В эксперименте «Мини-лаб» (СССР, Франция, ЧССР) на различных этапах космического полета был получен биоматериал для изучения динамики и закономерностей метаболических сдвигов при адаптации человеческого организма к необычным условиям жизнедеятельности.

Комплексное исследование системы управления движениями в целом и отдельных ее подсистем при выполнении космонавтом различных типов движений проводилось в эксперименте «Физали».

Исследование психофизических характеристик операторской деятельности человека на модели управления летательным аппаратом и их изменения в процессе адаптации к невесомости стало задачей эксперимента «Виминаль». Он позволит получить данные о состоянии системы зрительного пространственного восприятия в условиях невесомости, исследовать влияние невесомости на состояние мышечной памяти, особенности взаимодействия зрительной и двигательной систем в процессе операторской деятельности космонавтов.

С помощью аппаратуры французского производства в эксперименте «Цирцея» были продолжены исследования воздействия компонентов ионизирующего излучения на организм человека и вызываемые этим излучением биологические эффекты. Аналогичная аппаратура будет использована в перспективных космических проектах Франции и СССР, а также для контроля радиационных условий при высотных полетах самолетов гражданской авиации.

После выполнения научной программы полета Ж.-Л. Кретьен вместе с В. Г. Титовым и М. Х. Манаровым, проработавшими на орбите год, вернулся на Землю (посадка из-за сбоя в бортовой вычислительной машине корабля была

отложена на 2 витка). Посадка была совершена 21 декабря 1988 г. в 180 км юго-восточнее г. Джезказгана. Длительность полета Ж.-Л. Кретьена составила 24 сут 18 ч 7 мин.

Космические исследования

Экспедиция на «Мир»: ноябрь — декабрь 1988 г.

В последний месяц пребывания на орбите космонавты В. Г. Титов и М. Х. Манаров, а также врач-исследователь В. В. Поляков помогали советско-французскому экипажу в выполнении научных экспериментов по проекту «Арагац», завершили собственную исследовательскую программу и вели подготовку к возвращению на Землю.

Продолжалась международная программа астрофизических исследований с использованием аппаратуры модуля «Квант». С помощью телескопов обсерватории «Рентген» было проведено около 20 сеансов наблюдений сверхновой 1987А в Большом Магеллановом Облаке. Жесткое рентгеновское излучение сверхновой заметно уменьшилось по сравнению с январем 1988 г., что связано с распадом радиоактивного кобальта. Исследовался также спектр излучения рентгеновского пульсара в созвездии Паруса и определено изменение периода вращения этой нейтронной звезды.

Выполнен ряд экспериментов по изучению динамики и изменения состава газовой среды в отсеках станции и определению оптических характеристик земной атмосферы. В космических оранжевых «Вазон» и «Светоблок» исследовалось развитие высших растений и других биологических объектов в условиях орбитального полета.

Много времени отводилось занятиям на тренажере и тренировкам с использованием пневмовакуумного костюма «Чибис».

21 декабря 1988 г. самый длительный орбитальный полет двух советских космонавтов про-

должительностью 365 сут 22 ч 39 мин успешно завершился: В. Г. Титов и М. Х. Манаров вместе с французским космонавтом Ж.-Л. Кретьеном совершили посадку в спускаемом аппарате.

Космонавты А. А. Волков, С. К. Крикалев и В. В. Поляков продолжают работу на орбитальном научно-исследовательском комплексе «Мир».

С. А. Никитин
Москва

Космические исследования

Наблюдения комет со «спутника» Венеры

Американская автоматическая станция «Пионер-Венера», запущенная в 1978 г. для радиолокационных исследований поверхности Венеры с орбиты искусственного спутника планеты, после завершения своей основной задачи используется сейчас для наблюдений комет. За 10 лет пребывания в космосе солнечные батареи станции подверглись постепенному разрушению потоками частиц солнечного ветра. Поэтому сейчас для одновременной работы всех систем электроэнергии не хватает. Включение приборов производится в определенной последовательности, обеспечивающей получение максимально возможного количества разнообразных данных.

Так, с помощью ультрафиолетового спектрометра станции систематически регистрируются кометы во время их прохождения вблизи Солнца и Венеры. В период с 1984 по 1988 г. наблюдались кометы Энке, Джакобини — Циннера, Галлея, Вильсона, Нискава — Такидзава — Таго и Макнота.

Особый интерес представляет возможность сравнить «свежую» непериодическую (проходящую вблизи Солнца один лишь раз за время своего существования) комету Вильсона с периодическими кометами, которые вновь появляются около Солнца через определенное ко-

личество лет. Комета Вильсона прошла на минимальном расстоянии от Солнца 20 апреля 1987 г.

Спектрограммы в ультрафиолетовой области спектра, полученные с борта «Пионер-Вене-ра», позволили установить количество воды, выделяющейся в газообразном состоянии из ее ядра за 1 с. Оно оказалось равным 8 т, как у кометы Галлея на том же расстоянии от Солнца в 1986 г. Однако комета Вильсона выделяет больше воды по отношению к размеру своего ядра, чем более старые кометы, процессы на поверхности которых проходят менее активно.

Lunar and Planetary Information Bulletin. 1988. № 51. P. 3 (США).

Космические исследования

«Пионер-10» покидает гелиосферу

Автоматическая станция «Пионер-10», запущенная в США в 1972 г., уже пересекла орбиты всех планет Солнечной системы и удалилась от Солнца на 6,5 млрд км, продолжая передавать на Землю результаты наблюдений. Основную программу «Пионер-10» завершил в декабре 1973 г., пройдя через пояс астероидов и впервые исследовав Юпитер и его спутники. После этого станция приступила к наблюдениям за характеристиками межпланетного пространства, а также поиску десятой планеты и гравитационных волн в Солнечной системе и за ее пределами.

Наиболее важные результаты, полученные станцией в дальней части Солнечной системы, касаются гелиосферы, или «атмосферы» Солнца. Она простирается далеко за пределы орбит всех планет в виде потоков заряженных частиц, разлетающихся от Солнца с огромными скоростями. Регистрация таких потоков, называемых солнечным ветром, проводилась по всей трассе полета станции. Научный руководитель программы исследований Дж. Ван Аллен и Д. Джедж (J. Van Allen, D. Judge; Университет Южной Калифорнии) считают, что гелио-

сфера имеет сферическую форму, а размеры ее меняются в зависимости от солнечной активности. По их мнению, в 1989—1991 гг. «Пионер-10» пересечет границу гелиосферы и выйдет в межзвездное пространство, где сможет выполнить прямые измерения свойств межзвездного газа, чего нельзя сделать с Земли.

Положение «Пионера-10» в пространстве стабилизировано вращением вокруг его оси. Это устраняет воздействие станции на ее траекторию, поэтому гравитационное влияние небесного тела при пролете станции вблизи него можно легко обнаружить по изменению траектории. На этом основывались поиски десятой планеты за орбитой Плутона. Пока никаких свидетельств гравитационного воздействия на станцию со стороны неизвестных небесных тел не зарегистрировано. Однако огромный объем прошлых астрономических наблюдений указывает на нерегулярности в движении Урана и Нептуна, которые нельзя объяснить воздействием Плутона, как это делалось недавно. С 1978 г., когда размеры и масса Плутона установлены с достаточной точностью, считается, что эта планета слишком мала, чтобы существенно влиять на движение своих гигантских соседей. Дж. Андерсон (J. Anderson, НАСА) предполагает, что источник, влиявший на движение внешних планет в прошлом веке, сейчас исчез. Такое могло произойти, если орбита предполагаемой десятой планеты наклонена под большим углом к плоскости Солнечной системы и сейчас эта планета слишком удалась от плоскости орбит остальных планет; в результате ее воздействия на «Пионер-10» и на внешние планеты не ощущается. Выказано предположение о возможных местах нынешнего расположения десятой планеты, и ряд астрономов начали наблюдения за этими участками неба.

По мнению технического руководителя программы «Пионер-10» Р. Фиммела (R. Fimmel; НАСА), радиосвязь со станцией сохранится еще лет десять, пока не иссякнет бортовой изотопный источник электроэнергии.

Lunar and Planetary Information Bulletin. 1988. № 51. P. 3 (США).

Астрофизика

Вихри на Солнце

Группа астрофизиков из Швеции, ФРГ и США недавно начала наблюдения Солнца на Шведской солнечной обсерватории, расположенной на Канарских о-вах (Испания) с их преобладающим астроклиматом. В сочетании с совершенным оборудованием для обработки и анализа изображений это позволило исследовать новое, до сих пор неизвестное явление.

Были обнаружены воронкообразные вихревые образования диаметром около 5 тыс. км внутри спокойных областей солнечной атмосферы. Это первый случай наблюдения стабильных воронок в турбулентной конвекции атмосферы Солнца. Они были найдены благодаря вращательному движению солнечных гранул — светлых участков, придающих диску пятнистый вид. Их средний размер около 1 тыс. км; они возникают в результате подъема разогретой материи за счет конвекции вещества у поверхности Солнца.

Обычно земная атмосфера препятствует наблюдениям такого движения гранул, но современная техника новой обсерватории позволила преодолеть эту трудность. Хотя отдельная гранула «живет» всего несколько минут, сама воронка, в которую вовлекаются гранулы, существует не менее 1,5 ч (столько времени условия позволяли вести наблюдения). Как часто возникают солнечные воронки, должны показать дальнейшие исследования.

Конвекция разогретых газов в атмосфере Солнца играет важную роль в трансформации энергии солнечного магнитного поля. В принципе, обнаруженные вихри могут «скручивать» силовые линии магнитного поля и индуцировать электрические токи, которые станут нагревать солнечную плазму. Если подобные воронкообразные движения окажутся обычным явлением в конвективной зоне Солнца, можно будет сделать вывод, что они служат важным механизмом разогрева короны (внешней атмосферы) Солнца до наблюдающихся там высоких температур.

До сих пор объяснить столь высокие температуры на Солнце единым образом не удавалось.

Nature. 1988. Vol. 335. № 6187. P. 238—240 (Великобритания).

Астрофизика

Сверхсветовые скорости вдали от галактического ядра

Видимый разлет со сверхсветовыми скоростями элементов радиоструктуры в активных галактических ядрах и квазарах по вполне понятным причинам относится к явлениям, которые, будучи обнаруженными, долгое время привлекают внимание специалистов и не сходят со страниц популярных журналов¹. На сегодня методами радиointерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) видимый «сверхсветовой» разлет наблюдается в более чем 20 внегалактических радиоисточниках. Во всех случаях видимые угловые скорости структурных элементов оказываются порядка 10^{-3} "/год и охватывают область около ядра размером в несколько тысячных угловой секунды. Неоднократно поднимался вопрос о существовании «сверхсветовых» движений на больших удалениях от ядра,

но подтверждающие это наблюдения отсутствовали.

Впервые зарегистрировать перемещение элемента радиоструктуры внегалактического источника с видимой скоростью, превышающей скорость света, на большом расстоянии от ядра галактики удалось Р. Уолкеру и Дж. М. Бенсону (R. G. Walker, J. M. Benson; Национальная радиоастрономическая обсерватория США) и студенту М. Уолкеру (M. A. Walker; Пенсильванский государственный университет). Они использовали наблюдения источника 3C 120 на волне 6 см, проведенные на антенной системе VLA (Сокорро, штат Нью-Мексико, США). По данным РСДБ-наблюдений, этот источник известен как «сверхсветовой»: в области его ядра масштабом несколько парсек наблюдается перемещение отдельных яркостных пятен с линейной скоростью около 3 с. Авторы построили и сопоставили VLA-радиокарты источника 3C 120 по данным 1983 и 1987 гг. На обеих картах отчетливо виден радиояркий узел, отстоящий от ядра на 4". Отметим, что для сопоставления радиокарт применялись два различных метода — кросс-корреляционный и построения разностной карты. Особо следует подчеркнуть тщательность, с которой были подготовлены экспериментальные данные для второго метода. Так, для 1987 г. были выбраны такие моменты наблюдения и геометрическая конфигурация 27 антенн системы VLA, которые сводили бы к ми-

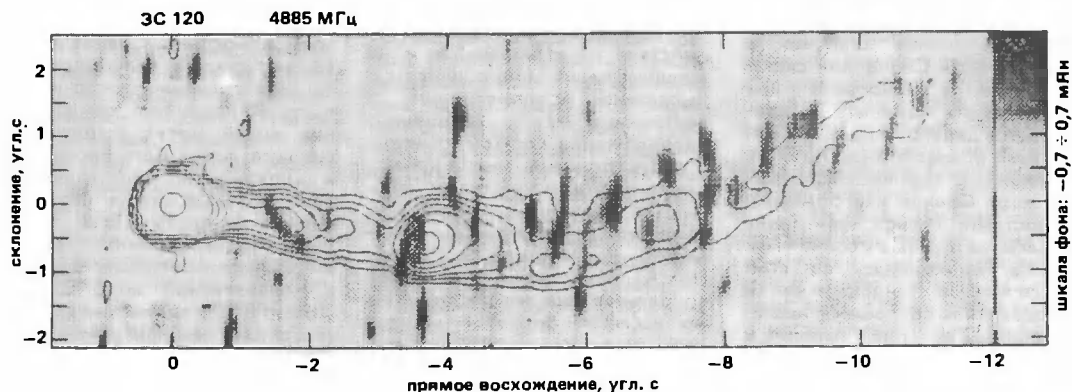
нимуму возможные методические различия в получаемых изображениях.

Представление о полученных результатах дает комбинированная радиокарта источника 3C 120. Сплошными линиями изображена структура источника. На нее наложен фон, интенсивность которого тем выше, чем больше в данном месте разность радиояркости по данным 1983 и 1987 гг. Максимум достигается вблизи «узла» в протяженной радиоструктуре. Именно этот максимум и интерпретируется авторами как индикатор перемещения узла за 4 года на $(0,009 \pm 0,003)''$. Такое перемещение соответствует линейной скорости $3,7 \pm 1,2$ скорости света (в предположении, что постоянная Хаббла $H_0 = 100 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$).

Если вывод авторов верен, перед теорией формирования видимых «сверхсветовых» перемещений возникает трудная и одновременно заманчивая перспектива обобщить выводы, сделанные ранее для окрестностей области размером в несколько парсек, на гигантскую область размером в тысячи парсек. Естественно, экспериментаторы попытаются подтвердить первый результат наблюдениями других внегалактических источников.

Astrophysical Journal. 1988. Vol. 335. P. 668—676 (США).

Комбинированная радиокарта источника 3C 120 на волне 6 см.



¹ Об этом см., напр.: «Сверхсветовой» радиоисточник // Природа. 1986. № 5. С. 105.

Астрофизика

Игра случая или закономерность?

Какова вероятность того, что три внегалактических радиоисточника, находящиеся в области небесной сферы размером около $45'$, будут иметь почти параллельную (с точностью 4°) протяженную радиоструктуру? Ответить на этот вопрос попытались австралийские радиоастрономы Г. Уайт, У. Макадам и И. Джонс (G. White, W. McAdam, I. Jones).

Построив радиокарты источников 0211-479, 0214-480 и 0215-483 по данным наблюдений на волнах 21 и 36 см с помощью радиотелескопов апертурного синтеза, расположенных в Молонгло и Флерс, они обнаружили удивительное совпадение позиционных углов вытянутой структуры: 170° , 174° и 170° , соответственно. С помощью оптического телескопа Англо-австралийской обсерватории им удалось измерить красные смещения этих объектов и отождествить их с галактиками. Расстояние между двумя последними источниками с учетом их красных смещений, по оценке, составляет 6 Мпк, а первый источник удален от двух других примерно на 500 Мпк. Так чем объяснить совпадение направлений, вдоль которых вытянута радиоструктура этих источников?

Вероятность случайного совпадения, по мнению авторов, не превышает 0,003. Столь малая величина заставляет искать какую-то физическую причину коллинеарности протяженных структур. В частности, не исключено, что все три галактики принадлежат одному скоплению (прежние наблюдения указывают на случайную ориентацию галактик, входящих в одно скопление). Однако непреодолимая трудность для подобной модели — слишком большое (500 Мпк) расстояние между галактиками.

Делалась попытка объяснить наблюдаемый феномен влиянием гипотетической гравитационной линзы. Однако и эта гипотеза неприемлема: в этом случае должна была бы наблюдаться регулярность в ориента-

ции не только радио-, но и оптических структур, чего в действительности нет.

Среди рассмотренных авторами гипотез одна опирается на предположение старейшины современных астрофизиков Я. Оорта. В 1983 г. он рассмотрел модель крупномасштабной структуры Вселенной, в которой галактики группируются в сверхскопления, образующие «стенки», которые обрывают «пустоты» — области очень низкой концентрации галактик. В рамках этой модели может наблюдаться коллинеарность моментов количества движения галактик на масштабах порядка сотен мегапарсек. Однако отсутствие явных противоречий между наблюдаемой параллельностью радиоструктур и гипотезой Я. Оорта еще не доказывает, что однозначное объяснение найдено.

Можно не сомневаться, что вслед за публикацией этих результатов последуют новые попытки предложить физический механизм формирования неслучайной структуры. Но пока извечный спор между случайным и закономерным в весьма частном случае — трех «параллельных» внегалактических радиоисточников — еще ждет своего решения.

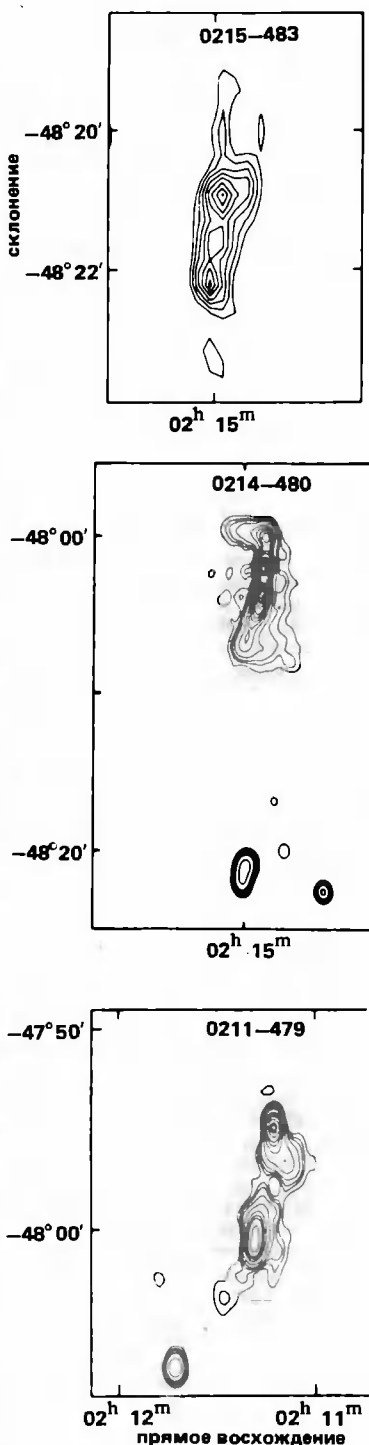
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1988. Vol. 233. P. 189—196 (Великобритания).

Химия атмосферы. Организация науки

Нужен Всемирный закон об атмосфере

В июле 1988 г. в Торонто (Канада) состоялась созданная Всемирной метеорологической организацией и руководством Программы по охране среды ООН международная конференция «Изменения в атмосфере и их влияние на безопасность в глобальном масштабе»; в конференции участвовало 330 человек из 46 стран и 15 международных организаций.

Как отмечалось на конференции, отсутствие должных мер по охране атмосферы приведет к повышению ее температуры у поверхности Земли на $1-4^\circ\text{C}$



Радиокарты галактик 0215-483, 0214-480 и 0211-479.

в XXI в., а неконтролируемое производство химических веществ — к дальнейшему разрушению озонового «щита» в верхней атмосфере, что вызовет рост заболеваемости раком кожи, повреждений зрения; возникнет ущерб для жизнедеятельности многих организмов. Усиливающаяся кислотность осадков угрожает сохранению жизни в озерах и реках и плодородию почв. Все эти положения и ранее содержались в докладах и статьях многих ученых и отчетах ряда научных учреждений, однако впервые с такой конкретной убедительностью они прозвучали на авторитетной международной конференции.

В принятых конференцией решениях говорится о необходимости значительно сократить выброс в атмосферу двуокиси углерода. Для этого в первую очередь следует, с одной стороны, повысить эффективность расходования горючих топлив, а с другой — заменить уголь и нефтепродукты иными энергоносителями (природным газом, биомассой), а также шире использовать атомную энергию, если будут решены проблемы безопасности.

Конференция призвала развитые промышленные страны разработать новый подход к энергетическим проблемам и одобрила предложение — обложить такие государства специальным налогом, пропорциональным количеству сжигаемого на их территории топлива, в целях создания фонда для защиты земной атмосферы. Средства из этого фонда пойдут на техническое развитие в данной области и международные программы мониторинга климата.

Делегаты призвали все правительства срочно ратифицировать международный Монреальский протокол 1987 г., предусматривающий меры по защите озоносферы, и предложили «ужесточить» к 1990 г. его требования, чтобы к 2000 г. удалить из воздушного пространства почти все хлорфторуглероды.

Конференция признала одной из ключевых проблем связь регионального загрязнения атмосферы с изменениями погоды и климата в глобальных масштабах. Например, необхо-

димо установить, была ли катастрофическая засуха 1988 г. в Северной Америке следствием парникового эффекта. Другая важнейшая проблема — изучение роли Мирового океана в изменениях климата.

New Scientist. 1988. Vol. 119. № 1620. P. 24 (Великобритания).

Химия атмосферы

Содержание метана в тропосфере растет

Содержание метана в нижних слоях атмосферы (тропосфере) составляло 10 лет назад в среднем 0,0152 частей/млн и было относительно постоянным. Однако в последнее время наблюдается систематическое увеличение его концентрации. Д. Блэйк и Ф. Роуленд (D. Blake, F. Rowland; Калифорнийский университет) определяли содержание метана в тропосфере на различных широтах Северного и Южного полушарий — от Аляски до Огненной Земли. Они установили, что ежегодный его прирост в среднем составляет 1 %. В северном полушарии это увеличение заметнее, что авторы объясняют более интенсивными в этом полушарии анаэробными биологическими процессами.

По мнению авторов, систематический рост содержания метана в тропосфере способствует усилению парникового эффекта, так как молекулы метана наряду с другими газами (пары воды, двуокись углерода) поглощают инфракрасное излучение.

Science. 1988. Vol. 239. P. 1129 (США).

Метеорология

Сеть регистрации радиоактивных осадков

В Великобритании создается государственная сеть станций для регистрации радиоактивности осадков. Первая ее очередь вступила в строй в середине 1988 г.; в целом система,

насчитывающая более 80 станций, начнет работать двумя годами позже и охватит всю территорию страны от Керкуолла (Оркнейские о-ва) на крайнем севере до о. Джерси (Нормандские о-ва) на юге.

Вначале сеть будет представлена 45 существующими метеостанциями, где дополнительно установлены приборы для регистрации излучения. Их показания будут включаться в обычные сводки погоды, передаваемые в Метеорологическое управление, находящееся в Бракнелле, а оттуда — в Центральный банк данных при Министерстве по охране природной среды (Лондон).

На втором этапе наблюдения станций будут проводиться автоматически. Будут использоваться математические модели, позволяющие оценивать и прогнозировать распределение и выпадение содержащихся в атмосфере радиоактивных частиц. Полученная информация будет предоставляться местным органам власти. Вся деятельность по наблюдению, анализу и интерпретации данных о радиоактивности воздуха и осадков, ранее распределенная между различными службами, отныне будет проводиться только Министерством по охране природной среды.

Толчком к созданию подобной сети стали события после катастрофы на Чернобыльской АЭС, когда британские организации, отвечающие за соответствующие наблюдения, оказались разобщенными и неподготовленными; их данные существенно противоречили друг другу.

New Scientist. 1988. Vol. 117. № 1594. P. 28 (Великобритания).

Метеорология

Новое поколение метеолокаторов

В конце прошлого года вступил в строй первый американский метеорологический радиолокатор нового типа NEXRAD, установленный на метеостанции Норман в штате Оклахома. Он осуществляет детальное слежение за метеорологической

обстановкой и предназначен главным образом для прогнозирования экстремальных и опасных явлений погоды.

Локатор основан на использовании доплеровского эффекта, позволяющего по изменениям частот излученной и отраженной радиоволн судить о скорости и направлении движения объекта. С его помощью удается наблюдать процессы, происходящие внутри бури, и регистрировать перемещения воздушных масс в различных частях погодной системы. Его можно применять также для обнаружения мезоциклонов — вращательных движений воздуха, предвещающих такое опасное явление, как торнадо, а также для высокоточного измерения распределения осадков на больших территориях. Помимо метеорологического он будет использоваться для гидрологического прогноза.

В авиации эту систему намерены применять для обнаружения ветрового сдвига — весьма опасного для самолетов явления, возникающего при взаимодействии сильных ветров с различными направлениями и скоростями.

Каждая установка снабжена ЭВМ для скоростной обработки метеоданных без участия квалифицированных специалистов: чтобы оценить цветное изображение, несущее обильную информацию, достаточно простого оператора.

К началу 1990-х годов система NEXRAD будет насчитывать 195 метеостанций, охватывающих всю территорию США. Главным разработчиком локатора NEXRAD — Л. Лемон (L. Lemon; фирма Unisys Corporation, США).

EOS. Transactions of the American Geophysical Union. 1988. Vol. 69. № 29. P. 723 (США).

Физика

Зарегистрированы релятивистские гиперядра

Гиперядра — ядра, содержащие, кроме нейтронов и протонов, также гипероны (в частности, Λ^0 -гиперон) — не ста-

бильны, они распадаются из-за распада гиперона с образованием, как правило, Λ^0 -мезона. На регистрации продуктов распада и основаны эксперименты по наблюдению гиперядер.

Хотя существование таких ядер подтверждено многими экспериментами, на сегодня имеется сообщение всего лишь двух групп о регистрации релятивистских гиперядер (т. е. гиперядер, ускоренных до релятивистских энергий). Это результаты исследования реакции $^{16}\text{O} + \text{CH}_2 \rightarrow ^{16}\text{O} + \text{K}^+ + \dots$ при энергии ядер $^{16}\text{O} \sim 2,1$ ГэВ/нуклон и шесть случаев образования и распада ядра ^4He , зарегистрированных с помощью эмульсионной методики¹.

Группа сотрудников Объединенного института ядерных исследований (Дубна) изучала образование релятивистских гиперядер с импульсом 18 ГэВ/с в реакции $^4\text{He} + \text{CH}_2 \rightarrow ^4\text{He} + \dots$. По мнению этих исследователей, из-за слабости критериев отбора событий в предшествующих работах значительна примесь фоновых процессов и неудовлетворительна идентификация гиперядер. Поэтому эксперименты, проведенные в Дубне, — первый случай надежной регистрации релятивистских гиперядер. Их распады регистрировались стриммерной камерой, заполненной неоном и помещенной в магнитное поле. Логическая схема из сцинтилляционных счетчиков и быстрой электроники позволила отобрать случаи образования гиперядер ^4He и ^3He с последующими распадами в объеме камеры. В эксперименте измерены сечения образования релятивистских гиперядер и время их жизни.

Зарегистрировано 17 распадов ядра ^4He и всего один (в отличие от 10, предсказываемых теорией) распад ядра ^3He . По мнению авторов, эффект может указывать на неожиданные свойства гиперядра ^4He — малое время жизни, малую энергию связи Λ^0 -гиперона и т. д.

Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. Вып. 9. С. 474—476.

Физика

Нейтральные частицы — причина широких атмосферных ливней

Знать состав первичных космических лучей необходимо, чтобы понять процессы, происходящие в Галактике и Вселенной в целом. А информацию об этом можно получить, анализируя широкие атмосферные ливни, возникающие при взаимодействии космических лучей с атмосферой Земли. До сих пор считалось, что космическое излучение сверхвысоких энергий (выше 10^{15} эВ) состоит в основном из заряженных частиц — протонов и ядер различных химических элементов. Однако прямые измерения состава космических лучей еще не проведены, а результаты анализа широких атмосферных ливней, как правило, неоднозначны и противоречивы.

А. В. Глушков (Институт космофизических исследований и астрономии СО АН СССР) предположил, что в первичном космическом излучении есть заметная доля нейтральных частиц. Изучалось направление прихода 8776 тщательно отобранных индивидуальных ливней с энергией частиц $4 \cdot 10^{17}$ — $4 \cdot 10^{19}$ эВ. Статистический анализ показал, что распределение этих направлений не является случайным. Так, среди 392 почти равномерно распределенных в Южном полушарии ливней (данные из каталога Сиднейской установки) обнаружены восемь пар с разницей в направлениях менее $0,5^\circ$ и 50 пар с разницей менее $1,5^\circ$. Если бы совпадение было случайным, то таких пар должно быть гораздо меньше — $3,7 \cdot 10^{-3}$ и $3,8 \cdot 10^{-2}$, соответственно.

Традиционно используемая схема движения заряженных частиц в магнитном поле Галактики не позволяет объяснить указанное противоречие (ведь, согласно этой схеме, заряженные частицы из-за взаимодействия с магнитным полем должны иметь хаотическое распределение направлений прихода, не связанное с направлениями на источники излучения). Таким образом, не исключено, что

¹ Nield K. J. et al. // Phys. Rev. C. 1976. Vol. 13. P. 1263.

² Андреева Н. П. и др. Препринт ИФВЭ. 1985. № 85—15.

первичные частицы в составе космических лучей нейтральны и сохраняют (по направлению) связь со своими источниками. Автор сравнил направления прихода 330 ливней (с энергией выше 10^{19} эВ) с положением 169 радиогалактик и квазаров для обнаружения внегалактических источников излучения. Вместо ожидаемых 12 случайных совпадений в пределах 1° с направлениями прихода ливней совпало 30 радиосточников. Наблюдается также выходящая за рамки случайной корреляция направлений прихода ливней с направлениями на сейфертовские галактики и скопления галактик.

По мнению автора, для более определенных выводов нужно увеличить статистику. Но уже сейчас можно, по-видимому, сказать, что нейтральные частицы в первичных космических лучах в основном образуются не в нашей Галактике.

Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. Вып. 10. С. 513—515.

Физика

Экспериментальная проверка закона тяготения

Неослабевающий интерес физиков к экспериментальной проверке закона всемирного тяготения Ньютона связан с несколькими обстоятельствами. Во-первых, гравитационная постоянная определена с невысокой (по сравнению с другими физическими константами) точностью. Достаточно сказать, что результаты ее измерения в разных лабораториях не всегда совпадают в пределах указанных авторами ошибок. Во-вторых, современные теории супергравитации и скалярно-тензорной гравитации приводят к модификации привычного закона тяготения. И, наконец, время от времени появляются сообщения о зависимости гравитационной постоянной от расстояния между притягивающимися телами.

Гравитационный потенциал в современных теориях по сравнению с ньютоновским имеет, как правило, еще одно слагаемое, экспоненциально убывающее с ростом расстояния меж-

ду массами; его можно рассматривать как вклад дополнительного взаимодействия с радиусом действия r_0 , интенсивность которого в α раз больше гравитационной постоянной. Так, недавно была выдвинута гипотеза о существовании нового вида взаимодействия («пятой силы») с эффективным радиусом порядка сотен метров¹. Величина α оказалась зависящей от отношения барионных чисел к атомным массам взаимодействующих веществ. Однако результаты экспериментов противоречивы и не позволяют однозначно отвергнуть или принять эту гипотезу. Твердо можно утверждать лишь, что на расстояниях от 2 см до 10 м не было достоверно обнаружено зависимости гравитационной постоянной от расстояния между телами.

В. П. Митрофанов и О. И. Пономарев (физический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова) провели эксперимент по проверке закона тяготения Ньютона на расстояниях от 3,8 до 6,5 мм. Основная трудность измерения гравитационного притяжения на столь малых расстояниях — выделение сигнала на фоне гравитационного притяжения окружающих масс и сейсмического шума. Поэтому в экспериментах использовались крутильные весы и в отличие от классического опыта Кавендиша измерения велись в динамическом режиме — наблюдался резонанс колебаний весов с укрепленной на них пробной массой под действием периодической силы гравитационного притяжения со стороны подвижной внешней массы. Современная электроника и лазерная техника позволили контролировать весь ход эксперимента и «тушить» паразитные (не крутильные) колебания весов.

При двух значениях минимального расстояния между массами велось сначала раскачивание, а затем — торможение весов. Измеряя изменение амплитуды колебаний за один период, удалось вычислить момент

гравитационных сил. Раскачка и торможение весов проводились для уменьшения погрешности результатов. Сравнение измеренных и вычисленных по закону Ньютона отношений гравитационных сил, отвечающих разным расстояниям между массами, не обнаруживает отклонения от указанного закона (точность измерения силы притяжения $\pm 10^{-10}$ дин).

Еще один важный результат работы состоит в оценке возможных значений интенсивности дополнительного взаимодействия, предположительно искажающего классическую зависимость силы тяготения от расстояния. Это позволяет сузить область значений масс частиц — переносчиков этого гипотетического взаимодействия в моделях супергравитации.

ЖЭТФ 1988. Т. 94. Вып. 10. С. 16—22.

Физика

Лазерная плазма — источник рентгеновских лучей

Создание лазеров, способных генерировать мощные (более 10^{18} Вт/см²) субпикосекундные импульсы излучения с длинами волн порядка 1 мкм, повлекло за собой необходимость детального изучения процесса взаимодействия их излучения с веществом. Дело в том, что напряженность электрического поля в таком импульсе значительно выше, чем внутри атома, а длительность импульса настолько мала, что движение в мишени за время его действия несущественно. Поэтому характер взаимодействия лазерного излучения и параметры образующейся плазмы заметно отличаются от хорошо изученных низких потоков излучения и наносекундных длительностей импульсов.

Е. Г. Гамалий и В. Т. Тихончук (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР), проанализировав поглощение света и перераспределение энергии между электронами и ионами, оценили параметры плазмы, возникающей при взаимодействии указанных импульсов излучения с веществом, и

¹ Fischbach E. et al. // Phys. Rev. Lett. 1986. Vol. 56. P. 3; см. также: Еще раз о «пятой» силе // Природа. 1987. № 11. С. 107.

предложили возможные области ее применения. В электрическом поле импульсы электрон приобретает энергию, превышающую энергию связи в атоме, и за время около 10^{-17} с в мишени образуются фотоэлектроны с концентрацией 10^{23} см $^{-3}$, которые создают дополнительную ударную ионизацию. Через 10^{-14} — 10^{-15} с их плотность превысит 10^{24} см $^{-3}$. Расчет рассеянной в единице объема плазмы энергии с учетом скин-эффекта показал, что она не зависит от числа электронов. Энергия же электронов растет линейно со временем и ограничивается только вылетом электронов из скин-слоя. Однако, по оценкам авторов, электроны при этом успевают разогнаться до релятивистских энергий (энергия электронов возрастает с уменьшением длины волны излучения). Покидающие скин-слой электроны своим электрическим полем ускоряют ионы, и это приводит к разлету плазмы. По мере разлета область поглощения энергии сдвигается в глубь мишени.

Описанная выше плазма представляет собой мощный источник жесткого рентгеновского излучения, возникающего при торможении электронов. По оценке, минимальная яркость такого излучения составляет 10^{14} Вт/см 2 , а если учесть плазменную турбулентность, то она увеличится еще в 100 раз. Таким образом, в рентгеновское излучение преобразуется до 1 % лазерной энергии.

По мнению авторов, плазма, создаваемая при воздействии мощных ультракоротких импульсов на конденсированные мишени, может служить источником электронов и ионов высоких энергий, а также жесткого рентгеновского излучения.

Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. Вып. 8. С. 413—415.

Техника

Биомеханические мускулы для роботов

Д. Колдвелл и П. Тейлор (D. Caldwell, P. Taylor; Университет Халл, Великобритания) разработали искусственные «мускулы» для роботов на основе поли-

мерных материалов. Движущая сила в этих «мускулах» возникает в результате преобразования химической энергии в механическую.

Материалом служит сополимер из поливинилового спирта и полиакрилатов, созданный еще в 50-х годах в процессе изучения мускульной работы человека. В системе, имеющей свойства геля, пары мономеров сополимера объединены поперечными связями и образуют трехмерную структуру. Исследовался сополимер с соотношением поливинилового спирта и полиакрилатов 3:1. При варьировании этой величины сила и скорость реакции «мускула» менялись.

Расширение и сжатие сополимера в схеме искусственного мускула происходят следующим образом. Для расширения в гель добавляют некоторое количество воды. Полимер набухает, так как полярные молекулы воды способны скользить между параллельными волокнами полимера, растягивая их в разные стороны. Для сжатия в систему добавляют неполярный растворитель — ацетон, не действующий на структуру геля. Вода же при этом выводится за счет явления осмоса, и полимер сжимается.

Искусственные мускулы способны реализовать усилие до 30 Н/см 2 , сравнимое с усилиями живых мускулов.

Сейчас создана пара «мускулов», осуществляющих движение захвата. Они снабжены двумя дополнительными «мускулами» (сгибающей и разгибающей), присоединенными к противоположным сторонам «захвата». Каждый «мускул» содержит несколько полосок полимерной мышцы, связанных параллельно. Чтобы привести «мышцы» в движение, в камеры, где они расположены, добавляют воду или ацетон, количество которых контролируется ЭВМ. Движения «мускулов»-полимеров передаются исполнительным устройствам через систему тяг.

Сейчас подобные разработки ведет в Италии Д. де Росси, используя электролиз, а также японские исследователи, которые возбуждают «мускулы» электрическим током.

New Scientist. 1988. Vol. 120. №1637. P. 35 (Великобритания).

Биохимия

Сезонные изменения иммунной системы

Хронобиология изучает и объясняет ритмические изменения жизнедеятельности организмов, позволяющие им рационально расходовать жизненные ресурсы.

Состояние иммунной системы во взаимоотношениях человека с внешней средой играет одну из главных ролей. Оно определяется активностью лимфоидной системы, Т- и В-лимфоцитов в частности. Оценить ее можно, определяя активность фосфодиэстеразы циклического аденозинмонофосфата — фермента, гидролизующего циклический нуклеотид до «линейного». Известно, что циклические нуклеотиды регулируют важнейшие внутриклеточные процессы и оказывают на организм такое же действие, как и гормоны. Повышение концентрации циклического нуклеотида (возникающее при низкой активности фосфодиэстеразы) угнетает защитные функции Т- и В-лимфоцитов. И наоборот, увеличение активности фосфодиэстеразы и связанное с ним уменьшение концентрации циклического нуклеотида повышают функциональную активность лимфоцитов. Чем выше активность лимфоцитов, тем более организм защищен от инфекции.

Московские исследователи (Кочеткова М. Н. и др.; Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского АН СССР и Институт медицинской паразитологии и тропической медицины им. Е. Д. Марциновского Минздрава СССР), анализируя образцы донорской крови практически здоровых людей, установили, что активность этого фермента зависит от времени года. Наибольшая активность наблюдается в конце лета — начале осени (июль — октябрь) и более чем в 5 раз превышает базальный уровень, иными словами, в этот период активность лимфоцитов максимальна. Так как лимфоциты периферической крови более чем на 60 % представлены Т-лимфоцитами, эти данные позволяют считать время с июля по октябрь периодом

наивысшей активности Т-лимфоцитов.

Авторы считают, что определение активности фосфоэстеразы циклического аденозинмонофосфата можно использовать для количественной характеристики функциональной активности лимфоцитов.

Известия АН СССР. Серия биологическая. 1988. № 5. С. 782—785.

Биотехнология

Новый биопестицид

Новый биологический пестицид кландо-сан (Clando-san) на основе белково-хитинового комплекса получен американской компанией IGENE (штат Мэриленд). Его применение в сельском хозяйстве безоговорочно одобрено Агентством по защите окружающей среды. Сырьем для получения пестицида служат створки раковин и панцири некоторых съедобных морских беспозвоночных. Новый пестицид эффективно действует на нематод — небольших нитевидных червей, которые живут в почве и питаются корнями растений, в том числе культурных. Нематоды ежегодно наносят сельскому хозяйству ущерб на сумму свыше 5 млрд долл. Кландо-сан непосредственно не поражает червей, а стимулирует рост микроорганизмов, живущих в почве. Они-то и вырабатывают ферменты, поражающие как нематод, так и их яйца. Таким образом, новый пестицид не опасен для посевов и, следовательно, для человека. По оценкам специалистов компании, широкое производство кландо-сан начнется тогда, когда ежегодное использование отходов предприятий, занятых переработкой морских съедобных беспозвоночных, составит от 900 до 1300 т.

Environment. 1988. Vol. 30. № 4. P. 22 (США).

Генетика

Новый метод введения чужеродных генов в растения

Биохимики из Лондонского королевского колледжа во главе с Р. Хейесом (R. Hayes) разработали новый метод введения чужеродных генов в хромосомы клеток растений, причем в качестве переносчика («вектора») использовали вирус самих растений. Преимущество метода в том, что вирусы распространяют ген сразу по всему растению или по крайней мере по многим его клеткам. Поэтому отпадает необходимость в очень сложном и длительном этапе работы, который применялся до сих пор, — внесении генов сначала в культивируемые одиночные клетки растения, а затем выращивание из этих клеток целого растения. Кроме того, так как вирусы активно размножаются в клетках, гены, «пришитые» к ДНК вирусов, также будут увеличивать число своих копий, что повысит и количество кодируемого этими генами белка.

Авторы использовали вирус TGNV как вектор, из которого выделили ген, кодирующий белок поверхности вируса, а затем к этому гену присоединили бактериальный ген, называющийся «пео». Затем получили димеры этой конструкции, в которых два TGNV-«пео» соединились между собой «голова к голове». Введенные в стебли табака *Nicotiana tabacum*, димеры внедрялись в клеточные ДНК, а затем разделялись на два мономера, один из которых выходил из клетки и внедрялся в соседние, а другой оставался в той же клетке и с него получались от 200 до 500 копий. Метод введения гена применили на двудольных растениях, однако он оказался хорош и для однодольных (пшеницы, риса, маиса) и других растений, входящих в пищевую рацион человека. Использование этого метода способно значительно сократить время и стоимость выведения новых сортов в сравнении с традиционными методами. Новым способом можно добиться экспрессии чужеродных генов всего за

10 дней, а через 21 день эти гены уже присутствуют во всех клетках растений. Он также позволяет вывести растения, устойчивые к патогенному действию насекомых, грибов, бактерий и вирусов.

Nature. 1988. Vol. 334. № 6178. P. 179 (Великобритания).

Генетика

Один ген вызывает одну и ту же болезнь у человека и собак

Группа американских исследователей из нескольких научных организаций во главе с Б. Коупером (B. Cooper) установила, что у человека и собаки существует наследственная болезнь, идентичная по клиническим и генетическим признакам. Она характеризуется мышечной слабостью и атрофией мышц и называется мышечной дистрофией, или миопатией Дюшенна (МД).

У человека уже выделен ген, мутации по которому приводят к развитию этой болезни (ген МД), расшифрована структура и определена локализация на половой X-хромосоме. У собак встречается похожая болезнь, связанная с нарушением некоторого гена их X-хромосомы, однако не было известно, тот ли это ген, что и у человека? Для ответа на этот вопрос изучали потомство, мать которого была носителем наследственного дефекта мышечной дистрофии. Для изучения молекулярной природы заболевания использовали клонированный ген МД человека и антитела к белку (дистрофину), продуцируемому этим геном. Методами гибридизаций белков и нуклеиновых кислот определяли, есть ли генетические продукты гена МД у собак.

Оказалось, что у здоровых собак присутствует РНК, считываемая с гена МД, и дистрофин, причем точно такие же, как и у здоровых людей. У больных же собак в мышцах не обнаружили ни РНК гена МД, ни дистрофина. Это доказывает, что за дистрофию мышц у собак

отвечает тот же ген, что и у человека. Таким образом, это заболевание у собак может быть удобной моделью для изучения подобного заболевания у человека и апробирования методов его лечения (в том числе тестирования лекарственных препаратов или даже проведения генной терапии).

Недавно выяснилось, что ген МД есть и у мышей. Интересно, однако, что у мышей мутации по этому гену хотя и нарушают синтез дистрофина, но не ведут к развитию самого заболевания. Исследования показали также, что и у собак с одной и той же мутацией гена МД болезнь характеризуется разной степенью тяжести, т. е. помимо мутации существуют и другие факторы, влияющие на развитие болезни.

Изучение этих факторов на собаках, возможно, прольет свет на причины клинического разнообразия форм болезни МД у человека и будет способствовать разработке способов ранней диагностики и лечения этой тяжелой наследственной патологии.

Nature. 1988. Vol. 334. № 6178. P. 154—156 (Великобритания).

Генетика

Прямая диагностика болезни Хентингтона

М. Хейден (M. Hayden; Университет Братанской Колумбии, Канада) и Дж. Васмут (J. Wasmuth; Калифорнийский университет, США) обнаружили новый маркер ДНК, названный D4S95, наиболее удобный из всех известных для диагностики хореи Хентингтона. Это нейropsychическое наследственное заболевание, за развитие которого отвечает один, не выделенный пока ген человека, проявляется только в зрелом возрасте (30—40 лет) в прогрессирующих нарушениях речи, координации движений, нарастающим слабостью и заканчивается смертью больного. Оно довольно широко распространено (в среднем 1 больной на 10 тыс. человек).

Носители гена, вызывающего болезнь, не подозревают об этом до появления симп-

томов, могут иметь детей и передают этот ген потомству в 50 % случаев. Поэтому важно как можно раньше обнаружить наследственный дефект для решения вопроса — иметь или не иметь ребенка, или определения степени риска развития болезни. Сложность ее диагностики до проявления клинических признаков заключается в том, что молекулярные механизмы развития болезни Хентингтона пока не известны. Однако уже выявлено несколько маркеров ДНК, расположенных в участке хромосомы недалеко от предполагаемого гена болезни, и с их помощью установлено, что этот ген локализован на конце короткого плеча хромосомы 4.

Новый маркер особенно удобен для идентификации гена болезни по двум причинам. Первая — очень близкое расположение («тесная сцепленность») маркера и гена в области хромосомы 4. Поэтому участок, выявляемый маркером, передается в ряду поколений вместе с геном болезни.

Вторая причина связана с сильными различиями структуры маркируемого участка у разных людей. Такой полиморфизм позволяет проследить наследование гена болезни, сцепленного с этим участком, и в большинстве случаев определить, будет ли передан дефектный ген ребенку.

Возможно, в недалеком будущем маркеры ДНК удастся использовать также для выделения и клонирования самого гена болезни Хентингтона и расшифровки содержащейся в нем наследственной информации.

Nature. 1988. Vol. 332. № 6166. P. 734—735 (Великобритания).

Медицина

Сезонные психические расстройства

Сильная форма угнетенного состояния психики, связанная с пребыванием на полярных зимовках, изучена специалистами по медицинской географии из Медицинского колледжа на Аляске (США). Эта форма

получила название сезонного психического расстройства (seasonal affective disorder).

Зимовщики полярных станций Северного и Южного полушарий к концу полярной ночи становятся сонливыми, раздражительными, замкнутыми. Они не могут сосредоточиться, утрачивают инициативу. У них возникает острая потребность в сладком, увеличивается вес. Весной они становятся более терпимыми, сокращается потребность в сне, вновь появляется интерес к жизни.

С такими лицами проводились сеансы фототерапии, оказавшиеся достаточно эффективными: на 80 пациентах из 100 благотворно сказывается облучение мощной флуоресцентной лампой в течение нескольких часов в день.

Polar Record. 1988. Vol. 24. № 150. P. 257 (Великобритания)

Медицина

Польза рыбной диеты

Известно, что рыбная диета уменьшает вероятность сердечно-сосудистых заболеваний. Люди, питавшиеся в основном рыбой (эскимосы, рыбаки Японии и Голландии), меньше страдают от этих болезней, в том числе и от атеросклероза.

П. Фокс и П. ДиКорлето (P. Fox, P. DiCorleto; Кливлендский университет, США) показали, что жир некоторых рыб тормозит синтез белка PDGFC стимулирующего рост гладких мышц стенок кровеносных сосудов. Клетки гладкой мускулатуры вместе с холестерином способствуют образованию утолщений в стенках сосудов, создавая условия для развития атеросклероза. При этом образовавшийся где-либо кровяной сгусток может легче блокировать кровеносные сосуды.

Авторы смешали коммерческий экстракт рыбьего жира с клетками эндотелия кровеносных сосудов, продуцирующими PDGFC, и обнаружили, что чем больше рыбьего жира в смеси, тем сильнее тормозилась выработка белка. По мнению авторов, это действие рыбьего жира

определяется содержащимися в нем полиненасыщенными кислотами.

Science. 1988. Vol. 241; № 4864. P. 453—455 (США); New Scientist. 1988. Vol. 116. № 1626. P. 36 (Великобритания).

Биология

Естественное воспроизводство трихограммы

Маленькие насекомые рода трихограмма широко известны благодаря пользе, которую они приносят при биологической борьбе с вредителями. Трихограмму в последние годы изучают все больше, и если ранее было описано лишь 20 ее видов, то теперь их известно более сотни¹. Недавно разработаны лабораторные тесты, позволяющие подобрать подходящий вид насекомого и предугадать результаты его использования в конкретном агроценозе. Раньше на поля выпускали избыточное количество трихограммы, буквально наводняли ею поля в течение сезона, но сейчас китайские исследователи попытались отказаться от этого и создать, а затем и естественно поддерживать популяции трихограммы. Цель экспериментов состояла в том, чтобы уберечь сахарный тростник от одного из стеблевых мотыльков².

Трихограмму (несколько видов) выпускали лишь дважды в году, в конце февраля и начале марта из расчета 75 тыс. особей/га, тогда как по старой методике — по 150—300 тыс./га и 8—12 раз в течение сезона. В апреле процент зараженности яиц вредителя на полях, обработанных по новой методике, составлял 59—49 (в зависимости от места выпуска); на полях, где выпуск осуществлялся по старой методике, — 53, а на полях, где трихограмму не выпускали, — 0; к августу эти показатели стали равны соответственно 70—76, 85 и 50. Эффективность нового ме-

тода сопоставима с эффективностью старого и несомненна на фоне необработывавшихся полей. Итак, можно значительно снизить стоимость и трудоемкость биологического метода борьбы с вредителями, если пойти по пути естественного воспроизводства трихограммы.

В. М. Карцев,
кандидат биологических наук
Москва



Охрана природы

Судьба африканского слона

По оценкам специалистов, количество сохранившихся в Африке слонов не превышает 750 тыс. и снижается по крайней мере на 5 % в год. Если эта тенденция сохранится, последний из них погибнет через восемь лет.

На территории Национального парка Маньяра в Танзании, где еще не так давно жили сотни слонов, обнаружены скопления их тел, лишенные бивней. Полагают, что за год на «черном рынке» продается хищнически добываемых бивней на сумму не менее 50 млн долл. Основными местами их сбыта служат Объединенные Арабские Эмираты и страны Дальнего Востока, где развито изготовление предметов искусства и украшений из слоновой кости, приносящих значительные прибыли.

На территории Республики Бурунди ныне остался лишь один слон. Однако из нее в последнее время вывозилось регулярно около 140 т слоновой кости в год (около одной трети ее мирового экспорта). Это объясняется тем, что в Бурунди через скупщиков направляют свою добычу браконьеры из Заира, Кении, Замбии, Танзании и Мозамбика: ведь до сих пор вывоз слоновой кости из Бурунди не был запрещен, а лишь облагался налогом в размере 25 долл. за 1 кг.

На совещании Международной группы специалистов по слонам и носорогам установлено, что не менее 88 % всей слоновой кости вывозится из Африки нелегально.

Стоимость 1 кг слоновой кости, составлявшая в начале 80-х годов 50 долл., сейчас возросла почти в 3 раза. Главными импортерами остаются Гонконг, Япония и Китай.

Сейчас возлагаются надежды на сменившееся правительство Бурунди, которое провозгласило намерение пресечь всю транзитную торговлю бивнями. Оно надеется на помощь международных организаций, которые могли бы изыскать средства, чтобы возместить этой небогатой стране существенные для нее убытки. В противном случае судьба африканского слона может оказаться весьма печальной.

New Scientist. 1988. Vol. 117. № 1594. P. 30—31 (Великобритания).



Охрана природы

Атмосфера страдает от выжигания лесов

Специалист по химии атмосферы Дж. Левин (J. Levin; Лаборатория НАСА, Хамптон, штат Вирджиния) обнаружил, что даже через несколько месяцев после выжигания растительности почва продолжает выделять большое количество окиси и закиси азота. Это играет определенную роль как в возникновении кислотных дождей, так и в создании парникового эффекта. Кроме того, закись азота, по мнению автора, попадая в стратосферу, преобразуется в форму, участвующую в разрушении озонового слоя. Автор также считает, что выделение обоих газов — следствие жизнедеятельности населяющих почву микроорганизмов.

Выводы сделаны им на основании изучения последствий крупного пожара, охватившего заросли чапаралей (кустарников) в штате Калифорния в 1986 г. Выделение этих газов в районе, где прошел огонь, в течение почти полугода было в десять раз интенсивнее, чем в соседней области.

Выжигаются ежегодно от 2 до 5 % всех лесов земного шара; например, особенно широко это практикуется в Ама-

¹ Voegelé J. // Colloquies of INRA. 1988. № 43. P. 17—29.

² Gue Ming Fang // Ibid. P. 469—476.

зонии, где тропический лес уничтожается под возделываемые поля.

Эти явления до сих пор не учитывались при оценке изменений состава атмосферы Земли и его влияния на окружающую среду.

Journal of Geophysical Research. 1988. Vol. 93. № 4. P. 3893—3899 (США); Science News. 1988. Vol. 133. № 15. P. 231 (Великобритания).



Охрана природы

Программы сохранения природы Гренландии

Датский Фонд Оге Енсе-на выделил 10,7 млн крон на осуществление шести различных программ по сохранению и защите флоры и фауны Гренландии. В соответствии с этими программами исследования охватывают восточное побережье Гренландии от 75° до 81° с. ш. Кроме того, будет изучаться состояние китовых стад (финвалов, малых полосатиков и горбачей), которые обитают в водах, омывающих Гренландию с востока.

По некоторым программам уже начаты работы, совместно ведущиеся сотрудниками научных учреждений Дании и Гренландии.

Polar Record. 1988. Vol. 24. № 149. P. 146 (Великобритания).



Охрана природы

Глобальное потепление: судьба фауны и флоры

По мнению ряда специалистов, изменения климата в XXI в. приведут к повышению среднегодовой температуры в глобальном масштабе на 3°. Это будет самый резкий климатический сдвиг за последние несколько миллионов лет.

В связи с этим руководство Программы ООН по охране окружающей среды и Всемирная метеорологическая организация поручили группе ученых во главе с М. Оппен-

хеймером (М. Oppenheimer; Нью-Йоркский фонд охраны окружающей среды) провести необходимые исследования.

Результаты этих исследований свидетельствуют, что в средних и высоких широтах, где потепление ожидается наиболее значительным, за десятилетия ареалы многих видов растений и животных сместятся на сотни километров к северу.

Для растительности, вероятно, это окажется непосильным. Так, наблюдения за елью Энгельмана, распространяющейся разносымыми ветром семенами, показывают, что она может «перемещаться» за столетие не более чем на 20 км. Широколиственные деревья обладают еще меньшей мобильностью. Потепление на 1—2° у южной границы ареала очень скоро вызовет их массовую гибель.

Животный мир также весьма чувствителен к изменениям климата. Например, потепление на 0,5° на юге Великобритании между 1920 и 1961 гг. привело к тому, что ареал бабочки белый адмирал (*Limentis camilla*) увеличился вдвое за счет северных территорий, хотя попытки искусственно его расширить были безуспешны. Однако холодолюбивый рыжий муравей (*Formica lugubris*) едва избежал исчезновения в Ирландии при аналогичном потеплении: он уцелел в наиболее прохладных местностях.

По прогнозу глобальное потепление поведет к таянию части ледников и подъему уровня Мирового океана к концу XXI в. на 1 м (в текущем столетии он уже повысился примерно на 12 см).

Отсюда возникает угроза фауне и флоре обширных прибрежных равнин на всех континентах. Так, С. Летерман (S. Leatherman; Университет штата Мэриленд), сопоставляя результаты аэро- и космической съемки, установил, что заболоченные низины вдоль Чесапикского залива на Атлантическом побережье США исчезают со скоростью 50 га/год.

П. Майерс (P. Myers; Орнитологическое общество им. Одюбона, США) предвидит перемещения мест гнездований

и временного обитания многих перелетных птиц с Аляски и других приполярных районов в другие области Америки. Например, ржанковые (*Charadriidae*) ежегодно останавливаются у побережья залива Делавэр, чтобы подкормиться икрой краба-мечехвоста (*Xiphosura*).

Подъем вод в заливе, очевидно, нарушит всю экологическую цепь в этой местности.

Известно, что в прошлом фауна и флора проявляли значительно большую «пластичность»; к примеру, в межледниковые плейстоцена на территории нынешней Канады произрастали цитрусовые. Однако грядущие климатические изменения могут оказаться слишком резкими и многие виды растений не успеют к ним приспособиться.

New Scientist. 1988. Vol. 117. № 1598. P. 29 (Великобритания).



Охрана природы

Клиника для ежей

Ежегодно на дорогах Великобритании под колеса автомашин попадает более 100 тыс. ежей. Верные своей любви к животным, англичане спасают оставшихся в живых ежей, выхаживая их в специально созданной клинике. Ныне она вмещает до 200 пациентов. Учтивая, что идущие на поправку ежи хорошо размножаются, администраторы клиники развернули кампанию по сбору 1 млн 800 тыс. долл. на ее расширение.

International Wildlife. 1988. May—June. P. 28 (США).



Экология

Грызуны в качестве «экспертов»

В Центре исследований живой природы Министерства сельского хозяйства США в Денвере (штат Колорадо) проводи-

лись испытания прочности подземных телефонных кабелей новейших конструкций, в том числе из очень тонких проводов волоконной оптики. Для этого использовались грызуны семейства гоферовых (Geomysidae), ведущих подземный образ жизни.

В лаборатории каждый из грызунов-«экспертов» получал на 7 дней кусок кабеля определенного вида. Прочность кабеля оценивалась по степени повреждения его грызунами. Пока лишь нержавеющая сталь признана способной противостоять их зубам.

International Wildlife. 1988. May — June. P. 28 (США).



Экология

Повреждение растений озоном: ранняя диагностика

Повышение концентрации озона в приземном слое воздуха ведет в конечном счете к появлению мертвых тканей в листьях деревьев и стеблях культурных злаков (внешне это проявляется в виде пятен); растения становятся хрупкими, беззащитными от насекомых и погибают. Есть основания полагать, что даже низкие постоянные уровни содержания озона в воздухе являются причиной первоначального скрытого поражения растений.

В настоящее время разработана методика ранней диагностики поражений — еще до того, как их обнаружат при изучении тканей под микроскопом. А. Гринберг и Дж. Бок (А. Greenberg, J. Bock; Университет штата Колорадо в Боулдере, США) поместили многолетнюю траву райграс английский (Lolium repens) на 7 ч в герметичную камеру с относительно невысокой ($1,5 \cdot 10^{-5}$) концентрацией озона, а затем высокоточным тензиметром измерили жесткость растения, сопротивление стебля на излом, прочность листьев на разрыв. По сравнению с контрольной группой экспериментальные растения стали более

хрупкими. Причина, по мнению специалистов, — изменение в уровнях содержания аминокислот и сахара.

Появляющаяся в подобных случаях «усталость» делает растения более доступными для насекомых — сельскохозяйственных вредителей. По оценкам специалистов, ущерб сельскому хозяйству США от загрязнения воздуха озоном ежегодно составляет от 1 до 5 млрд долл.

Environment. 1988. Vol. 30. № 6. P. 21 (США).



Экология

Искусственные рифы из нефтяных вышек

Национальная федерация США по охране живой природы поддерживает идею демонтажа отработавших морских буровых вышек прямо в воде: их больше не вытаскивают на берег для продажи как металлолом, а затопливают в прибрежных водах. Эти искусственные рифы привлекают к себе множество морских животных. Около дюжины старых буровых вышек уже сохранены у побережий США, а всего в мире на сегодня насчитывается около 4 тыс. нефтяных и газовых морских вышек, причем подавляющее большинство расположено в Мексиканском заливе и половина из них к концу столетия должна прекратить работу.

National Wildlife. 1988. August — September. P. 25 (США).



Экология

Жесткий закон на благо потребителя

Один из законов штата Калифорния (США) требует от производителей пищевых продуктов доводить до потребителей сведения о содержании в выпускаемых ими продуктах химических веществ, о которых известно, что они могут провоцировать раковые заболевания или различные репродуктивные

нарушения. На практике это означает, что на упаковках пищевых продуктов, включая напитки (в том числе и алкогольные), должны наклеиваться ярлыки с предупредительными знаками и надписями.

Нарушение этого закона обойдется производителю того или иного продукта в 2500 долл. за каждый день с момента его реализации. Если государственные инспекторы будут действовать недостаточно активно, судебное дело против нарушителя могут возбудить частные граждане; в этом случае 25 % взысканного с производителя штрафа будет передано возбудившему дело.

International Wildlife. 1988. July — August. P. 25 (США).



Экология

Сжигание мусора в море — пагубно

В последнее десятилетие многие западноевропейские страны широко практикуют уничтожение промышленных и бытовых отходов в море, на борту специальных судов, оборудованных мощными печами. Только в Северном море, омывающем побережья Великобритании, ФРГ, Норвегии, Дании и других развитых государств, ежегодно сжигается более 10 тыс. т отходов. Именно так избавляются от побочных продуктов производства некоторые частные фирмы, пользуясь тем, что контроль за подобными действиями в море значительно слабее, чем на территории их стран.

Группа сотрудников Гамбургского университета (ФРГ), возглавляемая И. Лозе (J. Lohse), установила, что продукты неполного сгорания, выбрасываемые из судовых печей в воздух, затем попадают в воду и осаждаются на морском дне. Особенно опасны гексахлорбензол и октахлорстирол, возникающие в результате неполного сгорания хлорированных углеводов при высокой температуре.

В южной части Северного моря, отведенной для работы

мусоросжигательных судов, содержание вредных веществ в донных осадках вызывает серьезное беспокойство ученых. Прислушиваясь к их мнению, правительство ФРГ объявило о своем намерении постепенно изжить подобную практику к 1994 г. Однако специалисты считают, что это необходимо сделать раньше.

New Scientist. 1988. Vol. 119. № 1632. P. 33 (Великобритания).

Геология

Рудоносность земной коры: новые данные

Кольская сверхглубокая скважина создала уникальные возможности для комплексного исследования нижних зон древнейшей докембрийской континентальной коры и оценки многих геологических гипотез. Новые данные, полученные при изучении керна скважины¹, во многом изменили существовавшие представления о глубинном строении восточной части Балтийского щита. Впервые доказано, что на больших глубинах существуют зоны разуплотнения и повышенной проницаемости, благоприятные для движения и отложения рудного вещества.

Выяснилось, что на глубине 6800—12 000 м присутствуют сильно метаморфизованные породы — гнейсы и амфиболиты, возраст которых 2750 ± 40 млн лет. Это опровергает классические представления о существовании здесь только пород «базальтового» слоя.

Анализ состава минералов и минеральных ассоциаций показал, что метаморфические изменения пород протекали при умеренных давлениях и неравномерном геотермическом градиенте. Установлена также взаимосвязь метаморфизма с процессами рассланцевания пород. Хорошо выраженная в некоторых породах гранитизация произошла при температурах 520—

650 °С. На отдельных участках распространены зоны дробления и повышенной трещиноватости. Так, для интервала 6200—6600 м типичны трещины скола и отрыва. На глубинах 9700—10200 м отмечены изменения пород, сопровождающиеся минеральными новообразованиями.

Опровергнуто долго господствовавшее мнение, что рудное вещество концентрируется главным образом в приповерхностных слоях. На значительных глубинах обнаружена медно-никелевая минерализация, представленная сростками рудных минералов, обогащенных кобальтом. На глубине 7635 м встречены железистые кварциты, а еще ниже (8711 м) — железно-титановая минерализация, представленная магнетитом и ильменитом. Перечисленные типы рудной минерализации характерны для Печенгского рудного поля, в районе которого и пробурена Кольская сверхглубокая скважина.

Но наиболее интересным стало обнаружение золотой минерализации на глубинах 9500—11 000 м. Самородное золото представлено отдельными линзами и зернами неправильной формы размером до 10 мкм и содержит до 15 % серебра. Кроме того, в амфиболитовых породах обнаружен самородный кадмий. Однако вопрос о месте золотого оруденения в общей последовательности эндогенных процессов остается открытым.

Полученные материалы говорят о наличии и большом разнообразии новых типов оруденения даже в, казалось бы, детально изученных районах.

О. Л. Базилевская

Москва

Геотектоника

Пuls спрединговых хребтов

Идеализированные представления тектоники литосферных плит традиционно связывались с непрерывностью процессов при образовании океанической коры — установившейся мантийной конвекцией, равно-

мерным поступлением магмы в зону спрединга и последовательной фиксацией в застывающих породах геомагнитного поля. Действительно, в интервалах 10—100 тыс. лет и более движение литосферных плит можно рассматривать как непрерывное, но на меньших отрезках времени рождение новой коры в значительной степени эпизодично. Даже в зонах, характеризующихся высокой скоростью спрединга, например на Восточно-Тихоокеанском поднятии, эта прерывистость не вызывает сомнений, но наиболее наглядна она в областях с малой скоростью раздвижения.

Очень хорошо неравномерность спрединга выражена в разнообразии морфологии сегментов Центрально-Атлантического хребта, где полускорость раздвига составляет 1—2 см/год. Наблюдения говорят об определенной тектоно-магматической цикличности: в тектонической фазе спрединга вызван в основном раскалыванием и растяжением уже образовавшейся коры; в вулканической фазе происходит внедрение даек и излияние магм, непосредственно формирующих кору. Например, южнее трансформного разлома Кейн в Атлантике спрединг охватывает мощный, до 500 м в высоту вулканический хребет с сильной гидротермальной активностью, однако образовался он на коре, уже подвергавшейся раскалыванию и растяжению, что хорошо видно в обнажениях на бортах центрального трога¹. Недавняя интерпретация высокоточных сейсмических разрезов в Атлантическом океане (восточное побережье Флориды) тоже косвенно подтверждает цикличность спрединга.

Новые геологические данные, полученные на континентах, также свидетельствуют о прерывистости образования океанической коры. Так, изучение офиолитового комплекса Жозефина в Калифорнии, образованного спредингом более 140 млн лет назад, дает два аргумента в пользу чередования тектонической и вулканической фаз.

¹ Козловский Е. А., Губерман Д. М., Казанский В. И. и др. // Сов. геология. 1988. № 9. С. 3—11.

¹ Cann J. // Nature. 1988. Vol. 336. № 6195. P. 108.

Первый заключается в значительном изменении геохимического состава лавового разреза от примитивной до зрелой (богатой железом и титаном) магмы. Это говорит о том, что магматические камеры закладывались, развивались и застыли за относительно короткое время, т. е. эпизодически. Обнаружены также свидетельства раскалывания, растяжения и, соответственно, сокращения мощности офиолитовой коры на ранней стадии ее эволюции, что отражает тектоническую фазу спрединга.

Цикличность спрединга — это скорее неравномерное чередование двух его фаз, чем строгая закономерность. Ее причины и влияние на плитотектонические процессы будут, видимо, проявляться в ходе дальнейших исследований подводных хребтов в рамках проектов «Ридж» (США) и «Бридж» (Великобритания).

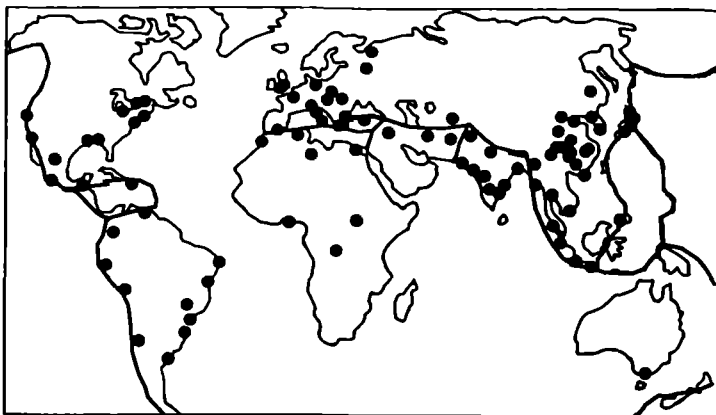
К. Р. Волков
Москва

Геофизика

Вероятность новых землетрясений

Выступая на конференции Американского геофизического союза, состоявшейся в декабре 1988 г. в Денвере (штат Колорадо, США), научный сотрудник расположенного там же Университета штата Колорадо Р. Биллэм (R. Billham) указал, что более трети крупнейших городов мира находятся в районах высокой сейсмической активности.

Представленная Биллэмом карта показывает примерно 100 городов, которые расположены в зонах высокого сейсмического риска и тем не менее к 2000 г. будут насчитывать свыше 2 млн жителей каждый. Около 40 % этих городов построены менее чем в 200 км от границ тектонических плит, являющихся подвижными зонами земной коры, или же недалеко от эпицентров недавних разрушительных землетрясений. Докладчик призвал к широкому использо-



Крупнейшие города мира в зонах высокой сейсмичности и границы литосферных плит.

ванию искусственных спутников Земли для измерения деформаций земной коры, которые могут выдавать приближающееся землетрясение.

Говоря о Спитакском землетрясении в Армении, Биллэм отметил, что оно не принадлежало к числу особенно сильных: его магнитуда не превышала 6,9 по шкале Рихтера. Такие толчки в том или ином регионе Земли отмечаются почти ежемесячно. Катастрофические же последствия были вызваны в значительной мере тем, что эпицентр располагался в зоне крупного скопления населения, а также несоблюдением правил сейсмостойкого строительства.

Выступивший на конференции советский геофизик Л. П. Зоненшайн (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) подчеркнул, что Спитакское землетрясение произошло в районе с весьма сложным геологическим строением¹. Эта область заключена между Евразийской и Аравийской плитами и к тому же рассечена на множество микроплит целой мозаикой мелких разломов, которые еще опаснее, чем один крупный. Кроме того, очаги землетрясений залегают здесь на малой глубине, что особенно увеличи-

вает вероятность разрушений.

Одновременно с конференцией был опубликован отчет, составленный по заказу японского правительства, который дает оценку сейсмического риска для Японии. Несмотря на самое серьезное отношение в этой стране к соблюдению строительных правил, подземный толчок магнитудой 7,9 (если он случится у восточного побережья Японии зимой во второй половине рабочего дня) приведет к гибели примерно 150 тыс. жителей Токио, а число раненых превысит 200 тыс. человек.

Согласно оценке Геологической службы США, в области Тихого океана существуют 11 районов, где вероятность мощного землетрясения в течение ближайшего десятилетия превышает 50 %. Этот вывод базируется на теории «зон сейсмического молчания», согласно которой землетрясения наиболее вероятны там, где на линии разломов земной коры длительное время не отмечались сейсмические толчки. С этой теорией, выдвинутой советскими специалистами в 1956 г., связано 14 успешных предсказаний землетрясений в Тихоокеанском регионе.

Наиболее реальным местом следующего мощного толчка ныне считается район Паркфилда в штате Калифорния (США), где вероятность землетрясения магнитудой 6 оценивается как 93 %. Здесь, в пределах известного разлома Сан-Андреас, за последние 150 лет сильные землетрясения повторялись в среднем каждые 22 года.

¹ Подробнее см.: Шебалин Н. В., Борисов Б. А. Спитакское землетрясение // Природа. 1989. № 4. С. 69—72.

Сейсмическое прогнозирование, основывающееся на теории «зон молчания», продолжает развиваться.

New Scientist. 1988. Vol. 120. № 1643. P. 3—4 (Великобритания).

География

Космические снимки пустынь

Снимки пустынь, полученные со спутника «Лэндсет», изучили Т. Максвелл (Т. Maxwell; Центр исследований Земли и планет при Национальном музее авиации и космонавтики США) и В. Хейнес (V. Haynes; Университет штата Аризона).

На снимках хорошо видны крупные песчаные образования, которые они назвали «шевронами» — за внешнее сходство этих морфоструктур с нарукавными нашивками. «Шевроны» представляют собой широкие зигзагообразные тонкие пласты песка, перемещаемые ветром. Авторы пришли к заключению, что именно подвижные «шевроны», а не дюны, как считается сейчас, служат наиболее активными транспортерами песка, определяя развитие и расширение пустынных районов на западе Египта и севере Судана.

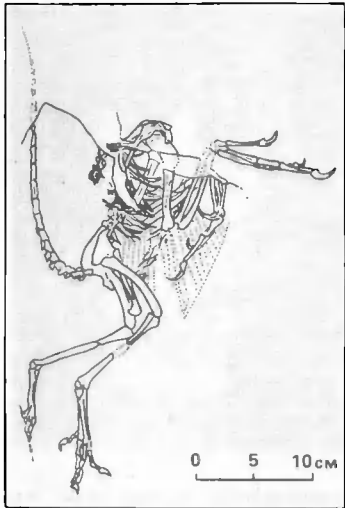
Свои выводы о характере перемещения песков Максвелл использует также при анализе космических снимков Марса, где обнаружены подобные песчаные структуры.

International Journal of Remote Sensing. 1988. Vol. 9. № 9. P. 1505

Палеонтология

Шестая находка археоптерикса

Происхождение птиц остается пока одной из нерешенных до конца проблем в палеонтологии¹. Первой или од-



Окаменелый отпечаток и скелет археоптерикса из Баварии.

ной из первых птиц считают археоптерикса, сочетающего черты птицы и пресмыкающегося. До недавнего времени было известно всего лишь пять его ископаемых экземпляров, к тому же весьма плохой сохранности, в связи с чем даже высказывались сомнения, не подделки ли это. И вот в 1987 г. П. Велнхофер (P. Wellnhofer; Баварский государственный музей палеонтологии и исторической геологии в Мюнхене, ФРГ) обнаружил прекрасно сохранившийся шестой экземпляр археоптерикса — *Archaeopteryx lithographica*. Хозяин коллекции принимал его за небольшого динозавра рода *Compsognathus*. Это заблуждение было вызвано плохой первоначальной обработкой находки, некоторыми отличиями в строении ископаемого животного от хорошо известных лондонского и берлинского экземпляров, а также незначительными потерями фрагментов черепа и неестественным положением головы. Археоптерикс из Баварии по размерам превосходит все предыдущие экземпляры: он на 10 % крупнее лондонского и почти на 30 % — берлинского. Длина хвоста составляет примерно 240 мм (имеются отлич-

ные отпечатки 15 хвостовых позвонков), головы — 105 мм и задних ног — 95 мм. В отличие от других особей, у нового экземпляра хорошо сохранились фаланги пальцев на передних и задних конечностях. От предплечья левой конечности отходит серия параллельных отпечатков, в которых можно распознать стволы перьев. К сожалению, владелец коллекции не помнит, откуда к нему поступил этот интереснейший экспонат. Точная датировка находки невозможна, однако известно, что она обнаружена в отложениях верхней юры.

Таким образом, впервые удалось провести точные измерения почти всех элементов скелета археоптерикса, что должно помочь приблизиться к разрешению спорных вопросов происхождения данной группы первоптиц.

Science. 1988. Vol. 240. P. 1790—1792 (США).

Археология

Первый киприот и последний карликовый бегемот

Среди археологов укоренилось мнение, что люди на Кипре — в одной из древнейших колыбелей европейской цивилизации — появились около 9 тыс. лет назад. Недавно геохимик А. Х. Симмонс (A. H. Simmons; Институт изучения пустынь, Рино, штат Невада, США) датировал радиоактивным методом отщепы камня, образовавшиеся при изготовлении древними киприотами орудий труда, и установил, что их возраст более 10 тыс. лет.

Рядом с обломками орудий каменного века были обнаружены и явно относящиеся к тому же времени многочисленные костные остатки карликового бегемота. Непропорционально большое количество среди этих остатков черепных костей позволяет считать обнаруженное скопление свалкой пищевых отходов человека.

До сих пор полагали, что карликовый бегемот, не превы-

¹ См., напр.: Птицы все-таки произошли от динозавров? // Природа. 1988. № 6. С. 120; Про-

тоавис — древнейшая птица? // Природа. 1987. № 11. С. 116.

шавший по размерам небольшую свинью, некогда водился на Кипре в изобилии и вымер там до появления людей. Теперь остается предположить, что некоторое время они сосуществовали вместе, и не исключено, что исчезновение этого животного — удобного объекта охоты — связано с человеческой деятельностью.

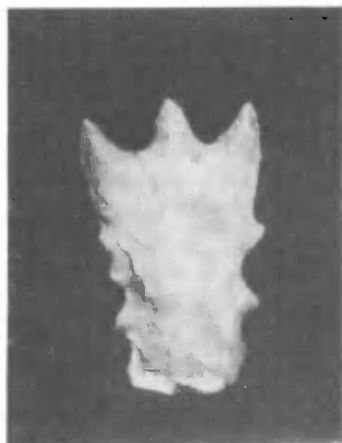
Nature. 1988. Vol. 333. № 6173.
P. 554—557 (Великобритания).

Археология

Степные находки

Вещественные доказательства духовной жизни древнего человека встречаются чрезвычайно редко. Поэтому каждая новая находка в этой области вызывает большой интерес. Одна из них была обнаружена в кургане эпохи бронзы, простоявшем свыше 4000 тыс. лет в присивашских степях. Расположенный у с. Васильевка, Новотроицкого района, Херсонской области, этот курган был исследован в 1984 г. экспедицией Института археологии АН УССР под руководством А. И. Кубышева.

На дне вскрытой могилы, представляющей собой глубокую прямоугольную яму, находился скелет человека; он лежал на спине с подогнутыми ногами и был посыпан красной краской. Под кистью его левой руки найдена фигурка из светло-серого кремня в виде стилизованной головки быка, верх которой оформлен тремя острыми зубцами. Трасологический анализ показал, что эти зубцы в работе не использовались, а вот обушковая часть предмета сохранила следы значительной изношенности. С помощью выемок с боков он крепился ремешками к вертикальной рукояти. В кромках выемок сохранились кусочки краски. Этот предмет не мог служить оружием или оружием, ибо в этом случае имелись бы следы изношенности на его верхних остриях. Зато сильный износ обушкового конца свидетельствует о длительности употребления вещи в качестве наперстка.



Стилизованная головка быка из светло-серого кремня. Эпоха бронзы.

Его привязывали к дереву ремнями, которые, как и деревко, были раскрашены красной краской и отлакированы.

Назначение этой уникальной скульптуры многопланово. В руках вождя-жреца она могла быть одновременно и скипетром, т. е. символом власти или знаком почта, и вместе с тем могла использоваться в религиозно-магических целях во время культовых свершений, обрядовых действий. Найденное в руках погребенного, намершие свидетельствует о большой власти его владельца. При жизни он действительно выделялся из рядовых общинников: для него не только тщательно была устроена могила, но над ней сооружена огромная насыпь, что потребовало труда многих людей. Редкость подобных находок (их известно еще всего лишь три на тысячи погребенных этого времени в степной зоне) подтверждает, что этим символическим знаком отмечены были немногие: вероятно, вожди крупных племен или племенных объединений.

Другая фигурка, найденная в кургане у с. Златополь, Запорожской области, изготовлена из песчаника мастером высокого класса. Она напоминает голову какого-то рогатого животного (см. первую страницу обложки). Выемки на ее зауженной части сделаны, видимо, чтобы удобнее было держать

предмет в руке. В этой фигурке исследователи видят синкретический образ быка-оленья и женщины, связанный с культом животных и плодородия.

Такое сочетание элементов человека и животного известно в идеологических представлениях многих древних народов. Рогатое мужское божество в едином облике быка и богини плодородия выступало в древности под разными именами. В Вавилоне это богиня Иштар, в Египте — Изиды. Образы быка и матери тесно связаны между собой. Например, костяная пластинка, найденная в Румынии, имеет вид головки быка с изображением на морде женской фигурки. Культ быка был распространен как у земледельцев, так и у скотоводов, для которых скот, преимущественно крупный рогатый, дававший молоко, мясо, шкуры, составлял основу жизни. О почитании быка свидетельствуют и захоронения бычьих черепов в могилах степных скотоводов. Такие случаи неоднократно отмечены на Херсонщине, т. е. на той же территории, где расположен курган со скипетром. Надо полагать, что смысл фигурки из с. Васильевка неоднозначен: в ней, вероятно, тоже сочетаются элементы зооморфного и антропоморфного божества. Это намершие, как важный атрибут духовной жизни, отражает сложные идеологические представления населения причерноморских степей, жизнь которого полностью зависела от природы — обилия трав, плодородности скота, здорового потомства. Древний человек задумывался над явлениями природы, хотел их понять, умиротворить, соединить воедино мужское и женское начала — источник всего живого.

Эту сторону его мировоззрения, вероятно, и отражают уникальные каменные находки с территории степной Украины — свидетели событий эпохи бронзы.

А. Л. Нечитайло,
кандидат исторических наук
Киев

История удивительного края или отчет о не вполне удавшейся экспедиции?

Н. А. Мягков
Москва

АМАЗОНИЯ — это бассейн Амазонки, крупнейшей реки мира, протяженность которой превышает 6700 км, а площадь водосбора — 6 млн км². Уникальная по богатству и своеобразию флоры и фауны, она давно стала меккой ботаников, зоологов, этнографов. С марта по апрель 1983 г. большой отряд советских ученых проводил здесь научно-исследовательские работы по программе 9-го рейса научно-исследовательского судна «Профессор Штокман». В состав экспедиции входили представители разных специальностей: из Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, Института биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР, Главного ботанического сада АН СССР, Дарвиновского музея и других организаций; впервые после экспедиций первой половины прошлого века отечественные ученые столь фундаментально исследовали Амазонию.

Результатом обработки материалов, собранных в экспедиции, и стала рецензируемая книга, цель которой, как пишут авторы, — «дать современное представление об амазонской экосистеме, о состоянии изученности геологии, физики, химии, биологии региона...» (с. 9).

Глава 1 — «Амазонка. Физико-географический очерк» — в общих чертах знакомит нас с географическим положением, климатическими и гидрологическими особенностями бассейна великой реки. Эта глава содержит обширную, прежде всего литературную информацию и как бы подготавливает читателя к более подробному знакомству с регионом. В главе 2 — «Геология Амазонии и ее континентальной окраины» — представлен квалифицированный анализ обширных оригинальных и литературных мате-

А. С. МОНИН, В. В. ГОРДЕЕВ

АМАЗОНИЯ



НАСКА

А. С. Монин, В. В. Гордеев.
АМАЗОНИЯ / Отв. ред. С. М. Кашин. М.: Наука, 1988. 216 с.

риалов по геологическому строению этого региона.

Главы 3—6 объединяет одна общая линия — попытка дать наиболее полную и квалифицированную характеристику современной гидрологической и гидрохимической ситуации в бассейне Амазонки, в бассейнах ее притоков, озер и приустьевых районах Атлантического океана. Авторам удалось достаточно широко осветить эту тему. Практически продолжением ее служит глава 8 — «Процессы в эстуарии Амазонки», в которой детально рассматриваются воздействия величайшей реки мира на приустьевой участок океана, где сток Амазонки оказывает огромное влияние на водные массы (на десятки километров от устья вода в океане пресная) и донные отложения.

В качестве приложения

к книге дана статья Л. А. Файнберга «Из истории освоения человеком Амазонки» — краткое эссе о быте и образе жизни некоторых коренных народов Амазонии, написанное, кажется, слишком бегло.

Может быть, читатели и не заметили, но я пропустил главу 7 — «Рыбы Амазонки и рыбы Голарктики. Сравнительные аспекты исследования фауны». И не случайно. Это единственное место в книге, посвященное живой природе. Правда, в главе 1 приводились данные о лесе Амазонии (с. 23), но столь краткие и общие, что говорить о них, как об информации, полученной в результате комплексной экспедиции, в которой принимали участие профессиональные биологи, и ботаники в том числе, не приходится. В той же главе есть и раздел с многообещающим заголовком «О некоторых особенностях экологии Амазонки», но им здесь посвящено всего полторы странички, написанных на уровне школьного учебника.

Исходя из многообещающего названия книги, введения и аннотаций к ней, мы вправе были ожидать развернутого рассказа об икhtiофауне великой реки, ее уникальном богатстве — по последним данным, здесь насчитывается более 1500 видов рыб (свыше трети — эндемики региона, исключительно интересные для специалистов). Да и сами авторы во введении пишут: «Нередко приходилось с помощью бразильских икhtiологов нанимать местных рыбаков, которые ловят рыбу в многочисленных озерах и протоках, где вода чище и рыбы больше. В результате этих работ удалось собрать уникальную коллекцию амазонских рыб из более чем 500 экз. 100 разных видов. До сих пор в нашей стране такой богатой

коллекции амазонских рыб не было» (с. 8—9).

Увы, это практически первая и последняя информация о рыбах, пойманных в экспедиции. А специальная глава, якобы посвященная ихтиофауне Амазонки, на самом деле рассматривает ряд проблем зоогеографии Голарктики, прежде всего рек Советского Союза. Нужно ли это в монографии о природе Амазонии? Зачем приводить сведения о рыбах Амура, Конго и других рек, не сделав даже попытки представить читателю названную выше коллекцию? Вся глава построена исключительно на литературных данных, да и то, в основном, начала 70-х годов. В ней отсутствуют результаты большого числа работ, посвященных отдельным группам именно амазонских рыб и вышедших в 1975—1986 гг., т. е. до сдачи рукописи в печать.

Пренебрежение биологическими аспектами привело к довольно странным поворотам мысли в заключении. Пытаясь отдать должное современным природоохранным и экологическим направлениям исследований, авторы пишут: «После 1972 г. было создано несколько национальных парков, а также центр по восстановлению фауны местных животных в Манаусе» (с. 203). И здесь же: «До настоящего времени нет сообщений о вымирании каких-либо видов амазонской фауны, поэтому не ведутся и работы по реколонизации (? — Н. М.) редких видов» (с. 203). Мало того что авторы по сути противоречат сами себе, они еще и грешат против истины. Проблемы сохранения представителей животного мира Амазонии стоят столь остро, что рассматриваются сегодня на уровне ЮНЕСКО и Межправительственных комиссий

стран, расположенных в бассейне Амазонки, о чем в книге говорится вскользь и по другому поводу.

Таким образом, комплексной, цельной книги о природе «удивительного края» не получилось. Где же биологические результаты этой, одной из самых экзотических и дорогостоящих научных экспедиций?

В заключение еще одно, уже чисто формальное замечание. На обложке, титульном листе и в выходных данных книги стоят два автора. А в оглавлении, где названы авторы каждой из глав, наряду с А. С. Мониным и В. В. Гордеевым появляется еще восемь фамилий. В таких случаях, насколько мне известно, принято оформлять издание как коллективную монографию.

НОВЫЕ КНИГИ

Биохимия

П. Хочачка, Дж. Сомеро. БИОХИМИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ / Пер. с англ. Н. Н. Алинова, Е. П. Крюковой, Н. П. Матвеевой. Под. ред. И. Б. Збарского. М.: Мир, 1988. 568 с. Ц. 5 р. 10 к.

Авторы известны советским читателям. Их монография «Стратегия биохимической адаптации» (М., 1977) стала настольной книгой для зоологов, экологов, физиологов, чьи интересы лежат в области изучения молекулярных механизмов приспособления к абиотическим условиям существования. Новую книгу объединяет с названной присущий авторам особый подход к анализу экспериментальных данных.

Исследования морфологических приспособлений, основу которых закладывали в начале века наши замечательные соотечественники А. Н. Северцов и И. И. Шмальгаузен, мы называем сегодня традиционными. Наука же о механизмах адаптации на молекулярном уровне организации живой мате-

рии находится пока, пожалуй, в стадии первичного накопления факторов, за которыми неизбежно следует этап обобщения и гипотез. Монография П. Хочачки и Дж. Сомеро — признак приближения этого этапа. С первых страниц читатель начинает ощущать логический каркас, который в дальнейшем будет держать изложение экспериментального материала. Среди тезисов, выдвинутых в первой главе, наибольший интерес, на мой взгляд, представляет идея о возможности адаптации на уровне «микросреды» макромолекул. Анализ данных в свете этой гипотезы может заставить нас по-новому взглянуть на принципы функционирования биологических макромолекул и, возможно, внесет свои коррективы в расчеты скоростей молекулярной эволюции.

Последующие одиннадцать глав книги посвящены рассмотрению биохимических адаптаций к самым разнообразным факторам внешней среды, в частности к зимней спячке и экстремальной температуре,

морским глубинам и физической нагрузке. Особенно подробно анализируются процессы переноса и утилизации кислорода, кинетические свойства ферментов, катализирующих реакции цикла трикарбоновых кислот и гликолиза.

Единственное, о чем жалеет читатель (надеюсь, что только части тиража), это о невозможности познакомиться с первыми разделами 4-й главы (с. 97—128), вместо которых типография «вмонтировала» страницы из другой книги.

Д. В. Серов
Москва

Физиология. Медицина

Н. Николов, Г. Нешев. ЗАГАДКА ТЫСЯЧЕЛЕТИЙ. Что мы знаем о памяти / Пер. с болг. В. И. Викторова. Под ред. М. И. Самойлова. М.: Мир, сер. «В мире науки и техники», 1988. 144 с. Ц. 40 к.

«Все жалуются на свою память, и никто не жалуется на свой ум». Этому афоризму Ф. Ларошфуко более двухсот лет. Но и по сию пору дале-

ко не каждый из нас умеет оценивать возможности своей памяти, тем более эффективно ее использовать.

Память и ее физические носители все еще во многом остаются загадкой и для специалистов, изучающих мозг. От ее решения в большой степени зависит прогресс человечества, так как знание механизмов памяти важно и для медицины, и для психологии, и для кибернетики.

В доступной для неспециалистов форме болгарские авторы знакомят нас с рядом процессов, явлений и открытий в области физиологии, фармакологии, неврологии, молекулярной биологии и отчасти психологии, связанных с человеческой памятью. Мы побываем в лабораториях И. П. Павлова, канадского нейрофизиолога и нейрохирурга У. Пенфилда, голландского фармаколога де Вида, американского ученого Р. Эйди, физиолога Н. П. Бехтеревой, узнаем об исследованиях П. К. Анохина.

Авторы рассказывают об использовании психотропных препаратов, а также о неумелом их применении, о действии адаптогенов — знаменитого корня женьшеня и дальневосточных растений — китайского лимонника и элеутерококка. Приводятся впечатляющие сведения о нарушениях памяти под влиянием курения и алкоголя. Интересны примеры, подтверждающие влияние среды на характер запоминания. В конце книги авторы рекомендуют простые, легко выполнимые упражнения для тренировки памяти.

Минералогия

В. А. Вахрушев. АРХИТЕКТУРА И ИСКУССТВО ГЛАЗАМИ МИНЕРАЛОГА. Новосибирск: Наука, сер. «Человек и окружающая среда», 1988. 80 с. Ц. 20 к.

Эта небольшая книга — рассказ минералога о природном камне, о его использовании в строительной, монументальной архитектуре и в ювелирном деле.

Около тысячи лет волнуют своей красотой белокаменные сооружения Владими-

ро-Суздальской и Московской Руси. Белый камень — это известняк. Многие шедевры В. И. Баженова и М. Ф. Казакова созданы из мячковского известняка, добываемого в карьерах по р. Пахре. А в исторических памятниках Ленинграда преобладает гранит: Александрийская колонна — самое грандиозное сооружение из карельского гранита, гигантские монолитные колонны Исаакиевского собора — из Выборгского гранита-рапакиви. Сказочная красота карельского цветного мрамора позволила создать неповторимые интерьеры зданий Русского музея, Этнографического музея.

Московское метро своим великолепием также обязано удивительному собранию мраморов, которому по окраске и богатству текстурных рисунков нет равных ни в одном из геологических музеев мира. В книге множество исторических примеров, позволяющих проследить развитие камнерезного искусства и истоки удивительного понимания художником свойств и «души» камня, к которому своим путем приходит и минералог.

Одна из глав посвящена камням-самоцветам: нефриту, лазуриту, аметисту, янтарию и новому, недавно открытому минералу — чароиту. Описаны их свойства, условия образования, названы главные месторождения.

Ботаника

С. О. Герасимов, И. М. Журавлев. ОРХИДЕИ. М.: Росагропромиздат, 1988. 208 с. Ц. 1 р. 10 к.

Культура выращивания орхидей широко распространена в разных странах. У нас она только начинает развиваться, но уже существуют клубы любителей орхидей, проводятся выставки. Распространение этого увлечения сдерживается почти полным отсутствием пособий по этой теме. В связи с этим большой интерес должна вызвать книга, написанная знатоками орхидей, выращившими десятки видов. Она содержательна, свободна от перегрузки второстепенными сведениями и не вызовет затруднений у массового читателя.

Небольшая по формату, красочно и со вкусом оформленная книга — хороший подарок всем любителям растений и специалистам по цветоводству и озеленению. Хотелось бы, чтобы наши издательства чаще выпускали книги о мире природы в нашем доме, которых нам еще очень не хватает.

История науки

А. С. Шевелев, Р. Ф. Николаева. ПОСЛЕДНИЙ ПОДВИГ ЛУИ ПАСТЕРА. М.: Медицина, 1988. 112 с. Ц. 25 к.

К. А. Тимирязев писал, что слова: «Благодарное человечество — своему благодетелю», — не звучали риторической фразой на могиле Луи Пастера. Чтобы осознать это, достаточно вспомнить, что Пастер выделил возбудителей сибирской язвы, бешенства и других ранее непобедимых болезней и разработал на основе развитого им представления об искусственном иммунитете методы предохранительных прививок. В целом же спектр заслуг Пастера перед человечеством гораздо шире: он был одним из основоположников медицинской микробиологии, иммунологии, стереохимии.

Книга посвящена 100-летию со дня основания Института Пастера в Париже, созданного им в 1888 г. на средства, собранные по международной подписке. Общим планом сюжета послужил рассказ об истоках и развитии дружеских уз, связывающих Пастера с русскими учеными, более частным — борьба, развернувшаяся вокруг прививок против бешенства как во Франции, так и в России. Авторы используют документы из государственных архивов Москвы, Ленинграда и Смоленска, а также материалы, публиковавшиеся во французской, русской и английской прессе, биографические очерки и статьи о Пастере, его письма.

За строкой документального повествования предстает личность гениального ученого, истинного гуманиста, верящего в высокое предназначение науки и могущество человеческого разума. Заключение книги посвящено общим проблемам иммунологии и современному развитию пастеровских идей.

Почетный гражданин Вены

Е. В. Пиннекер,
доктор геолого-минералогических наук
Иркутск

В 1987 г. мне посчастливилось побывать в Вене, где я должен был читать лекции о подземных водах геологам-строителям. Здесь долгое время жил и работал Эдуард Зюсс (1831—1914) — человек, которого по праву можно считать одним из создателей современной геологии. Он особенно знаменит как автор трехтомного сочинения «Лик Земли», в котором была теоретически обобщена вся имевшаяся в то время информация о геологическом строении нашей планеты.

Однако меня с некоторых пор интересовала одна малоизвестная у нас сторона его деятельности¹. Вену называют «городом Э. Зюсса»: по его инициативе город был обеспечен чистой питьевой водой и спасен от наводнения, за что благодарные венцы соорудили ему памятник. И вот я в Вене, на кафедре геологии Венского университета, во главе которой когда-то стоял Зюсс. Его нынешний преемник профессор А. Толлманн — знаток творчества Зюсса, хранитель его рукописей и личных вещей, автор многих публикаций о нем. Беседы с Толлманном и знакомство с новыми документами натолкнули меня на мысль попытаться охарактеризовать роль Зюсса на поприще гидрогеологии — науки, значение которой в наши дни неизмеримо выросло.

Первые годы научной деятельности Э. Зюсса, пришедшие на середину прошлого столетия, совпали с реконструкцией Вены: в центре города сносились старые сооружения, возводились дворцы и менялась планировка улиц, именно тогда стала застраиваться кра-



Эдуард Зюсс.

сивейшая кольцевая улица Ринг. Вскрывались фундаменты старых домов, прокладывались многокилометровые траншеи под канализационные и газовые трубы. Зюсс воспользовался этим обстоятельством, чтобы выяснить строение здешних грунтов и составить их многочисленные разрезы. Весной 1862 г. выходит его труд с весьма примечательным названием: «Основание города Вены согласно его происхождению,

своим свойствам и отношению к жизни граждан»². Эта книга может считаться одной из первых работ в области инженерной геологии. По широте охвата проблемы (устойчивость грунтов, пригодность их в качестве строительных материалов, состав и геологическая деятельность воды, наконец, рекомендации по строительству тех или иных

¹ Исключение составляет книга: Обручев В., Зотина М. Эдуард Зюсс. М., 1937.

² Suess E. Der Boden der Stadt Wien nach seiner Bildungsweise, Beschaffenheit und seinen Beziehungen zum bürgerlichen Leben. Wien, 1862.

сооружений) она не уступает современным исследованиям такого рода. Но у книги была и гражданская направленность: автор обращается к общественности, призывая ее к борьбе с серьезными недостатками в обеспечении города водой.

В то время источниками воды в Вене были в основном колодцы или каналы. Область питания этих источников в основном располагалась на возвышенностях пригорода, где с ростом населения появились и стали быстро расширяться кладбища. «Вы используете для питья трупную воду,— заявил Зюсс,— городу нужен новый источник питьевой воды». Зюсса приглашают в члены городской думы, он начинает работать в комиссии по водоснабжению.

Было представлено несколько десятков проектов обеспечения Вены питьевой водой: водопровод из Дуная, использование грунтовых вод Штейнфельда, ключей в Альпах и т. п. После долгих дебатов остановились на водоводе от высокогорных альпийских источников, который предложил построить Зюсс. Этот вариант был самым дорогим, зато гарантировал высокое качество воды.

Летом 1863 г. Зюсс на средства городской думы провел в Альпах исследование выходов источников, изучил качество их воды и предполагаемую 100-километровую трассу водовода. Приходится только поражаться, как это удалось сделать человеку, столь занятому глобальными геологическими проблемами и педагогической деятельностью, в такой короткий срок. Вл. Славков Зюсс сумел увлечь своим проектом общественность и защитить его от противников. В конце концов нашлись и деньги — был выпущен специальный заем.

Работа в Альпах, предпринятая для решения частной и прикладной задачи, стала крупным вкладом в науку. Зюсс дал первую классификацию источников подземных вод, которая до сих пор в почти неизменном виде используется в учебниках гидрогеологии.

Из-за австро-прусской войны строительство водовода началось только в 1869 г. В октябре 1875 г. состоялось



Памятник Э. Зюссу на площади Шварценберга в Вене. Скульптор Ф. Зейферт.

его торжественное открытие. Оно происходило на площади Шварценберга — одной из самых больших в Вене, где для приема воды высокогорных источников, теперь текущей в город по каналу каменной кладки с акведуками, подобными римским, был сооружен специальный фонтан. Честь подачи сигнала для пуска воды была предоставлена Зюссу. Взметнувшаяся на высоту 50 м мощная струя вызвала восторг у заполнивших площадь жителей города. Жажда города была утолена — Вена стала получать в сутки до 138 тыс. км³ чистой воды. А фонтан действует и поныне, поражая своим величием. «Вода Зюсса» — любовно говорят о нем венцы.

Неподалеку от фонтана в тени деревьев скромный бюст Зюсса с надписью: «Создатель первого венского водовода высокогорных источников, мастеру геологии, борцу за свободу и прогресс». Памятник

поставлен в 1928 г. учениками, друзьями и сотрудниками Зюсса на средства, собранные по подписке.

Еще не завершилось строительство альпийского водовода, как Зюсс взялся за регулирование Дуная. Дело в том, что река, разливаясь весной и осенью, затоплила низменные кварталы Вены. Особенно остро этот вопрос встал после большого наводнения 1862 г. Поскольку у Вены главное русло Дуная описывает громадную дугу, Зюсс из ряда возможных вариантов борьбы с ежегодными наводнениями выбрал проект спрямления русла реки за счет строительства 7-километрового канала и сделал его гидрологическое обоснование. Тут ему пригодился чужой опыт — сооружение Суэцкого канала, на торжественном открытии которого он побывал не как гость, а как исследователь.

В апреле 1875 г. Зюсс уже руководил пуском воды Дуная в новое русло. Правда, дело не обошлось без непредвиденных осложнений. Потребовались дополнительные земляные работы. Но вскоре уже берега канала стали живописными улицами-набережными, которые по сей день радуют жителей и гостей столицы Австрии. Зюсс же был провозглашен почетным гражданином города, избран депутатом парламента и признан народным любимцем.

Впоследствии Зюссу неоднократно приходилось расследовать причины прорыва подземных вод и устранять аварии различными методами, которые получили распространение. Вообще минеральные и термальные источники всегда привлекали Зюсса, и он не забывал о них в своих многочисленных поездках. Он описал минеральные воды Западной Чехии, хорошо знал источники Центральной и Южной Европы. Примечательно, что периодичность выброса водяных паров при извержении Везувия он сравнивал с ритмом работы горячих источников. А в 1901 г. на собрании естествоиспытателей и врачей в Карлсбаде (Карловы Вары) 70-летний Зюсс выступил с докладом, где обобщил свои идеи относительно

происхождения горячих источников и по существу изложил новое учение о формировании термальных подземных вод³.

«Если ни область питания, ни область минерализации Карлсбадских источников не могут быть указаны на поверхности, то остается предположить, что вода их происходит из недостижимых глубин Земли и представляет последний след вулканической деятельности», — заявил Зюсс. Приведенная цитата является краеугольным камнем концепции ювенильных вод (от лат. *juvenilis* — юный, девственный). Так Зюсс назвал воду, генерируемую в глубинах Земли из водорода и кислорода при магматических или вулканических процессах.

Развивая эту концепцию, Зюсс пришел к выводу о тесной связи выходов горячих вод, выносящих ювенильные воды, с источником рудных

веществ, которые содержатся в гидротермальных растворах. Отсюда и общепризнанные в наше время представления о роли гидротермальных растворов и магматических эманаций в образовании рудных месторождений.

Другой аспект развития этой концепции — выяснение причины колебания уровня морей. По представлениям Зюсса, не океан пополняет подземную гидросферу, как считалось до него, а, наоборот, пополнение Мирового океана происходит из недр Земли.

В 1971 г., т. е. через 70 лет после обнаружения Зюссом его идеи, мне довелось побывать в Карловых Варах и изучать происхождение минеральных вод изотопными методами. Ведь именно Карлсбадский шпрудель, как тогда называли главный источник Карловых Вар, представлялся Э. Зюссу эталоном ювенильных вод. Изотопные исследования, которые сейчас считаются наиболее информативным индикатором генезиса подземных вод,

здесь до этого не проводились. Что же они дали? Мнение выдающегося геолога подтвердилось только отчасти. По содержанию дейтерия и изотопа ^{18}O термальные воды не имеют ювенильной природы, на поверхностное их происхождение указывает также наличие в углекислых термах трития. Однако изотопные определения углерода и серы свидетельствуют о ювенильной природе углекислоты и сульфатов. Сходные результаты в отношении генезиса этих компонентов чехословацкие гидрогеохимики получили и другими методами.

Существуют ли вообще ювенильные воды? Да, они есть, хотя и обнаруживаются в смеси с водами другого генезиса. В областях современного вулканизма ювенильная составляющая в гидротермальных источниках достигает 5—25 %. И здесь, и в рифтовых зонах из мантии выносятся гелий. Все это свидетельствует о живучести концепции ювенильных вод, как, впрочем, и всех других идей и дел Зюсса.

³ Süss E. Ueber heisse Quellen // Verhandlungen Gesell. deutsch. Naturforsch. u. Aerzte, Leipzig. 1902. Bd. 71. S. 133—151.

Научные редакторы:

И. Н. АРУТЮНЯН,
О. О. АСТАХОВА,
Л. П. БЕЛЯНОВА,
А. В. ДЕГТЯРЕВ,
М. Ю. ЗУБРЕВА,
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,
Г. М. ЛЬВОВСКИЙ,
В. В. МАЙКОВ,
Л. Д. МАЙОРОВА,
Н. Д. МОРОЗОВА,
Е. М. ПУШКИНА,
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературный редактор
Г. И. ПАНКОВА

Художник
П. П. ЕФРЕМОВ

Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией
О. В. ВОЛОШИНА

Корректоры:

О. Н. БОГАЧЕВА, Т. Д. МИРЛИС

В художественном оформлении
номера принимали участие

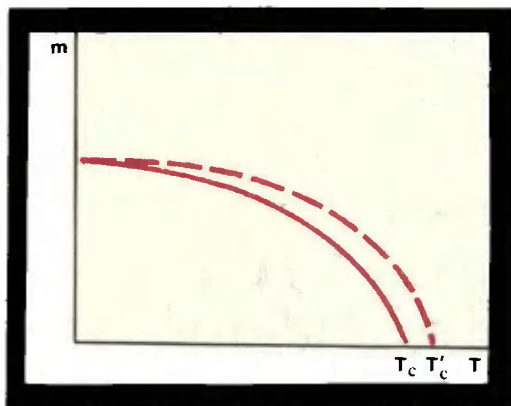
А. Б. ГАЛИЦКИЙ,
М. Л. МОРГЕНШТЕРН,
Е. К. ТЕНЧУРИНА

Ордена Трудового Красного
Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароховский пер., 26
Тел. 238-24-56 238-26-33

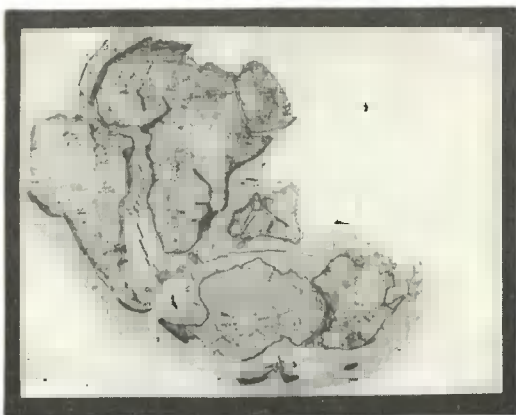
Сдано в набор 23.02.89
Подписано в печать 18.04.89
Т-00139
Формат 70×100 1/16
Бумага офсетная, № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1445,6 тыс.
Уч.-изд. л. 15,0
Тираж 54 000 экз.
Зак. 512
Цена 80 к.

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат
Государственного комитета СССР
по делам издательства,
полиграфии и книжной торговли.
142300, г. Чехов
Московской области



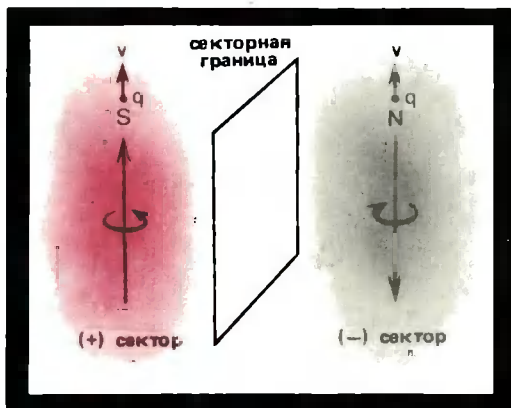
Свет, падающий на образец, способен резко изменить его магнитные свойства. Это один из примеров тесной связи между магнитными и электрическими явлениями в веществе.

Нараев Э. Л. ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЙ МАГНЕТИЗМ И МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ



Детальный палеонтологический анализ существенно дополнил наши представления о судьбе Гондваны, особенно о мало изученном прежде периоде ее образования.

Хани В. Е., Божко Н. А. ГОНДВАНА — ИСЧЕЗНУВШИЙ СУПЕРКОНТИНЕНТ



Все попытки обнаружить конкретный космофизический фактор, ответственный за связь Солнце — биосфера, до сих пор не увенчались успехом. Однако циклическая воспроизводимость результатов гелиобиологических наблюдений свидетельствует не только о реальности таких связей, но и о нетривиальности этого феномена.

Жанрблис В. Е. СЦИЛЛА И ХАРИБДА ГЕЛИОБИОЛОГИИ: БИОФИЗИЧЕСКАЯ ИНДИВИДУАЛЬНОСТЬ И ЦИКЛИЧЕСКАЯ ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ

Археология и сравнительная мифология свидетельствуют об удивительных «космических странниках» и об архаическом институте бесмертия.

Шилов Ю. А. ПРИШЕЛЬЦЫ? — ПРАКОСМОНАВТЫ

