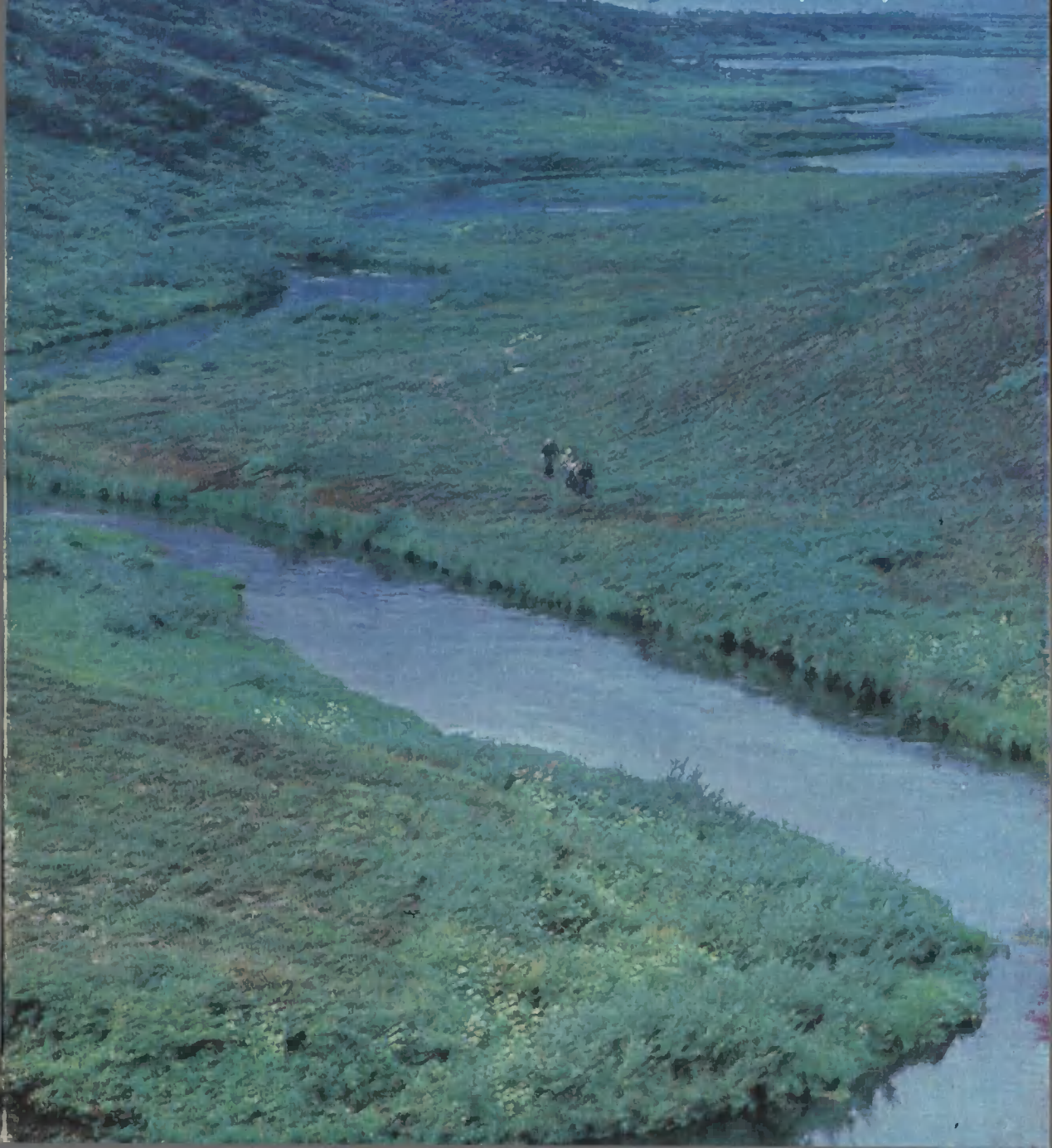


ISSN 0032-874X

10 ПРИРОДА

1985



ПРИРОДА

Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

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

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

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

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАШУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

На первой странице обложки. Террасы — один из характерных элементов камчатского рельефа. См. в номере: Салин Ю. С. В медвежьем углу Камчатки.
Фото Н. П. Смелова.

На четвертой странице обложки. Свежий ударный кратер диаметром около 5 км на поверхности лунного материка, снятый с космического корабля «Аполлон-10». См. в номере: Иванов Б. А., Базилевский А. Т. Метеоритные кратеры.
Фото НАСА.

© Москва «Наука»

Природа 1985

В НОМЕРЕ

Постнов Ю. В., Орлов С. Н. Новое о природе гипертонической болезни 3
Установлена роль клеточных мембран в развитии гипертонической болезни. Это позволяет вплотную подойти к расшифровке молекулярных основ патологии и наметить новые пути в профилактике одного из самых распространенных заболеваний.

Дремин И. М. Кварконий — атом из кварков 12
Прошло всего 10 лет, как были открыты новые частицы, которые во многом сродни обычным атомам, но состоит из кварков. Они помогают изучать самые мощные силы природы — так называемые цветовые силы.

Иванов Б. А., Базилевский А. Т. Метеоритные кратеры 23
Поскольку ударно-метеоритное происхождение лунных кратеров уже не вызывает сомнений и есть все основания считать метеоритные кратеры повсеместным явлением в Солнечной системе, совершенно необоснованными представляются попытки некоторых геологов отрицать космическую природу этих структур.

КРАСНАЯ КНИГА

Воловник С. В. Бабочка мертвая голова 36
Сейчас энтомологам многое известно о жизни этой своеобразной бабочки, но недостает детальных знаний ее биологии, чтобы разработать эффективные меры охраны.

Березкин Ю. Е. Маниоковое дерево: происхождение тропического земледелия в Америке 39
У земледельческих народов Америки есть много мифов о культурных растениях. Один из них — миф о рубке «мирового дерева», поднявшегося от земли до неба, на ветвях которого висели плоды этих растений. Чаще всего такое дерево отождествлялось с маниоком — индейским «хлебом», превосходящим по калорийности многие продовольственные культуры.

Кононенко Н. А. Древние рудокопы Приморья 47
Считалось, что орудия первобытных племен Приморья — мотыги, зернотерки, песты — свидетельствовали о развитии в этом районе в III тысячелетии до н. э. земледелия. Однако новейшие исследования показали, что подобными предметами пользовались для добыwania железной руды и приготовления из нее минеральной краски.

Салин Ю. С. В медвежьем углу Камчатки 50
В какие бы края ни отправлялся геолог, какие бы задачи перед ним ни стояли, оказавшись лицом к лицу с природой, он невольно задумывается над проблемой взаимоотношения природы и цивилизации.

Грушинский Н. П. Гравиметрия — наука о силе тяжести 62
Точные измерения силы тяжести позволяют находить месторождения полезных ископаемых, детально рассчитывать траектории космических аппаратов, судить о внутреннем строении Земли и других планет.

Недавно удалось увидеть след, который оставляет в воздухе летящее насекомое. Хотя это лишь качественная картина, отражающая взаимодействие насекомого с воздушным потоком, на ее основе можно дать и количественную характеристику следа, а в будущем, сравнив следы разных насекомых, очевидно, удастся проследить эволюцию полета.

«НАИВЫСШАЯ МУЗЫКАЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ МЫСЛИ»

К 100-летию со дня рождения Нильса Бора

80

Нильс Бор олицетворяет историю стремительного и триумфального проникновения физики в тайны строения атома. Он создал большую интернациональную научную школу и был одним из первых крупных ученых, всецело посвятивших себя борьбе за мир.

Резеберг У., Сачков Ю. В. На заре атомного века

82

Гейзенберг В. Прорыв в новую землю

93

НОВОСТИ НАУКИ

103

Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1985 г.) [103] • «Союз Т-13» [103] • Обнаружена ли гелиопауза? [104] • Распространенность дейтерия в кометах [105] • Длительность суток на Нептуне [105] • Остановка атомов лазерным светом [106] • Нейтронный микроскоп [106] • Получение искусственных алмазов при низких давлениях [107] • Оптическая регистрация информации [107] • Синтезирован ген кальцитонина человека [108] • Строение рецептора иммуноглобулина Е [108] • Генетические основы ощущения вкуса [109] • Время реакции водителя [109] • Алкоголь и витамины [109] • Новое — хорошо забытое старое [110] • Вакцина против клещевого энцефалита [110] • Нервные клетки делятся и во взрослом мозге? [110] • Четвертое царство живой природы? [111] • Преимущества «коммунальной квартиры» у муравьев [111] • Гигантский кальмар в Охотском море [112] • Самое глубоководное растение [113] • Ловушка для це-це [114] • «Пчелиный мониторинг» [114] • Полисорбы — поглотители загрязняющих веществ [115] • Новая находка сульфидов в Красном море [115] • Металлогения рифтовых зон [116] • Глубинные превращения земной коры [116] • Тектоника Новой Гвинеи [117] • Грибовидные течения в океане [117] • Куда движутся воды через Гибралтарский пролив? [119] • Крупнейший «водопад» мира [119] • Насекомые мелового периода на территории Европы [119] • Советско-монгольские археологические исследования [120]

РЕЦЕНЗИИ

Ефремов Ю. Н. Современная картина нашего Млечного Пути (на кн.: Л. С. Марочник, А. А. Сучков. Галактика)

121

Филонович С. Р. Первая книга о Р. Гуке на русском языке (на кн.: А. Н. Боголюбов. Роберт Гук (1635—1703))

123

НОВЫЕ КНИГИ

125

Девис П. Случайная Вселенная [125] • Мизун Ю. Г. Ионосфера Земли [125] • Мариковский П. И. Животные предсказывают землетрясения [126] • Кац Я. Г., Козлов В. В., Макарова Н. В., Сулиди-Кондратьев Е. Д. Геологи изучают планеты [126] • Браун Д., Массет А. Недоступная Земля [127] • Роман Якобсон. Избранные работы [127] • Койре А. Очерки истории философской мысли [127]

НАВСТРЕЧУ XXVII СЪЕЗДУ КПСС

Новое о природе гипертонической болезни

Ю. В. Постнов, С. Н. Орлов



Ювеналий Васильевич Постнов, доктор медицинских наук, заведующий отделом Центральной научно-исследовательской лаборатории Министрства здравоохранения СССР. Область научных интересов связана с изучением роли почек и нарушений мембранного транспорта катионов при гипертонической болезни.



Сергей Николаевич Орлов, доктор биологических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Занимается изучением механизмов ионного транспорта в биологических мембранах, роли кальция в регуляции активности клеток при первичной гипертензии.

Насколько проблема гипертонической болезни серьезна для современного общества, говорит хотя бы тот факт, что в промышленно развитых странах каждый 6—7-й житель в возрасте старше 18 лет имеет повышенное кровяное, артериальное давление. А это означает, что 14—16 % населения подвержено отрицательному влиянию и самой болезни, и ее неблагоприятным последствиям. Именно поэтому выяснение природы гипертонической болезни составляет одну из важнейших задач современной медицины.

Гипертоническую болезнь называют первичной гипертензией, подчеркивая этим, что она развивается, в отличие от гипертензий вторичных, без видимой причины, вне связи с другими заболеваниями

или конкретным повреждением какого-либо органа (болезнью почек, например). Вторичные гипертензии встречаются значительно реже первичной и составляют обычно не более 5—10 % от всех случаев артериальной гипертензии.

Сейчас хорошо известно, что повышение кровяного давления обусловлено действием двух основных факторов: во-первых, усилением сопротивления кровотоку в мелких артериях, вызванному повышенным напряжением (тонусом) гладкой мускулатуры в стенках сосудов и сужением их просветов (со временем эти артерии уплотняются, и наступает необратимый склероз сосудов), и, во-вторых, усилением насосной работы сердца, необходимой для преодоления этого препятствия.

При всей кажущейся простоте такого механизма, причина гипертонической болезни до последнего времени оставалась неясной.

Со временем повышенное кровяное давление неблагоприятно воздействует на кровеносные сосуды, сердце и почки. При недостаточном лечении болезни нередко серьезные осложнения, такие как кровоизлияние в мозг, инфаркт миокарда, почечная недостаточность, тромбоз с последующим нарушением кровообращения в различных областях тела и т. д.

Несмотря на применение лекарств, понижающих кровяное давление, смягчающих течение болезни и уменьшающих число осложнений, лекарственная терапия не устраняет самой причины гипертонической болезни. В результате значительная часть населения, чаще всего это люди зрелого возраста с большим профессиональным опытом, лишаются трудоспособности. Урон, наносимый обществу гипертонической болезнью и ее последствиями, настолько велик, что ее справедливо называют иногда «белой чумой» XX в.

ВЗГЛЯД В ПРОШЛОЕ

Впрочем, не следует думать, что в прошлом не было гипертонической болезни. Просто ее стали легко распознавать совсем недавно, только в начале 30-х годов, когда во врачебную практику был введен простой метод измерения артериального давления, предложенный в 1905 г. русским военным хирургом Н. С. Коротковым. Прежде проявления гипертонической болезни относили за счет других заболеваний. Справедливо, однако, и то, что в наше время частота этой патологии резко возросла, и связано это, прежде всего, с характерными особенностями современной жизни — с ее быстрым темпом и большими нервно-психическими нагрузками. Отечественные ученые уже давно рассматривали нервно-психическую перегрузку, как одну из главных причин возникновения болезни. Именно в нашей стране сложилась концепция нейрогенного происхождения гипертонической болезни. Еще в 1922 г. выдающийся русский клиницист Г. Ф. Ланг определил гипертоническую болезнь как результат «травматизации и перенапряжения отрицательными эмоциями сферы высшей нервной деятельности». Этот вывод Г. Ф. Ланг во многом подтвердил, изучая эпидемию тяжелой гипертонии в Ленинграде, возникшую после 900-суточной блокады города в Великую Отечественную войну 1941—

1945 гг. Видя, что нервно-психическое перенапряжение, охватывающее широкий круг людей, вызывает гипертоническую болезнь лишь у части из них, Г. Ф. Ланг пришел к выводу о наличии наследственной предрасположенности к этому заболеванию и связал ее с конституционными особенностями высшей нервной деятельности.

Однако при всей бесспорности участия нервно-психического перенапряжения в возникновении гипертонии, сейчас этот фактор рассматривают лишь как условие, способствующее развитию болезни, но не как ее причину. В то же время тезис о наследственной предрасположенности к гипертонии начинает приобретать конкретное содержание. Результаты исследований клеточных мембран при первичной гипертонии показали, что причина заболевания лежит не в нарушении частных механизмов регуляции артериального давления, как предполагали раньше, а заложена в изменениях клеточных мембран, вызывающих нарушение ионного транспорта. Дефект мембранной регуляции транспорта важнейших для жизнедеятельности клеток ионов натрия и кальция составляет основу несовершенной адаптации организма к стрессовым ситуациям, облегчающим развитие сосудистой патологии. Гипотеза о мембранной природе первичной гипертонии впервые была высказана одним из авторов статьи еще в 1975 г. и затем была подтверждена целым рядом исследований.

Для того чтобы оценить сущность нового понимания природы гипертонической болезни, следует коротко рассмотреть, как формировались традиционные представления об этом заболевании. Необходимо сразу отметить, что история изучения гипертонической болезни до последнего времени развивалась как история изучения основных систем, принимающих участие в регуляции артериального давления.

Уже первые клинические и анатомические исследования начала века и более поздние эксперименты по воспроизведению гипертонии у собак выявили четкую связь гипертонии с работой почек. Это и привело к выводу, что гипертония всегда появляется при повреждении почек. Такое мнение вначале получило мощную под-

¹ Постнов Ю. В. — Кардиология, 1975, № 8, с. 18; Он же. — Терапевтический архив, 1977, № 10, с. 45; Постнов Ю. В., Орлов С. Н., Шевченко А. С. — Кардиология, 1975, № 10, с. 88.

держку: оказалось, что уменьшение кровотока в почке приводит к усиленной выработке в ней особого фермента — ренина, который контролирует образование в крови пептида — ангиотензина, обладающего сильным сосудосуживающим действием. Так сложилась ренин-ангиотензинная концепция, трактующая появление гипертензии как результат сужения мелких сосудов под действием избыточного количества ангиотензина. Однако эта стройная концепция оказалась приемлемой только для почечных форм гипертензии, но не могла объяснить развитие гипертонической болезни.

С развитием физиологии кровообращения и с разработкой разнообразных моделей гипертензии, не связанных с повреждением почки, ведущую роль в возникновении гипертонической болезни стали отводить другим частным механизмам системы регуляции артериального давления. В качестве потенциальных источников болезни рассматривали нарушения работы сосудодвигательного нервного центра в продолговатом мозге, эндокринной системы, периферической нервной системы и т. п. При всех существенных различиях этих подходов к природе гипертонической болезни их объединяет единый взгляд на первичную гипертензию как следствие повреждения частных механизмов регуляции кровообращения, хотя, как оказалось впоследствии, за сценой их действия стоят более общие изменения в организме на субклеточном уровне.

Интересно, что теория почечного происхождения гипертонической болезни получила в последнее время новую трактовку в работах американского физиолога А. Гайтона, показавшего, что сложная система механизмов, обеспечивающих необходимое кровяное давление в организме, работает по принципу саморегуляции. В этой системе почка играет роль «устройства управления», действующего на частные механизмы регуляции уровня артериального давления по принципу обратной связи. (В общем виде это можно уподобить работе терморегулятора, который является «устройством управления» для поддержания постоянной температуры в термостате.) Артериальное давление в системе кровообращения поддерживается на уровне, необходимом для обеспечения полного объема выделительной функции почки (при этом между высотой артериального давления и выделением солей и воды существует прямая зависимость). В соответствии с концепцией А. Гайтона, артериальное давление в такой саморегули-

рующейся системе повышается лишь при смещении границ, в которых почка регулирует давление, т. е. при изменениях в самом этом органе. В этом случае для нормальной выделительной функции нужно более высокое артериальное давление. Только лишь в первичном изменении самой почки А. Гайтон и видит причину гипертонической болезни, поскольку именно этот орган «задает» оптимальную высоту давления, необходимую для нормального выделения конечных продуктов обмена.

При гипертензии происходит так называемое переключение почки, т. е. пределы регуляции артериального давления почкой смещаются в сторону более высоких его значений. Этим, в частности, можно объяснить парадокс, привлекавший внимание исследователей, а именно: почему у больных с постоянно повышенным давлением крови сохраняется нормальный уровень выделения солей и воды. Однако концепцию А. Гайтона нельзя назвать завершенной — в ней нет главного звена, т. е. данных о первичных нарушениях почки, вызывающих развитие гипертонической болезни. Более того, в нашей лаборатории было показано, что «переключение» почки происходит вторично, по мере развития гипертензии, и определяется действием внепочечного фактора, а именно: нарушением мембранной функции клеток в тканях организма.

МЕХАНИЗМЫ ИОННОГО ОБМЕНА В КЛЕТКЕ

Одна из основных функций клеточной мембраны — поддерживать неравновесное (по отношению к внеклеточной среде) распределение одновалентных катионов натрия и калия: так, во внеклеточной жидкости концентрация натрия и калия составляет соответственно 140 и 5 мМ, в то время как в цитоплазме концентрация натрия в 15 раз ниже, а калия в 20 раз выше. В конце 50-х начале 60-х годов в клеточной мембране был обнаружен специальный фермент — Na^+ , K^+ -аденозинтрифосфатаза (Na^+ , K^+ -АТФаза), преобразующий энергию, запасенную в молекуле АТФ, в энергию концентрационного градиента натрия и калия, т. е. выполняющий функцию насоса. Именно этот насос компенсирует пассивную утечку ионов, которая происходит либо через специальные каналы в мембране, либо через белки-переносчики, осуществляющие трансмембранный обмен ионов. Основное значение этих катионтранспортирующих систем сво-

дится к формированию на мембране электрического потенциала. Например, в эритроцитах, в силу высокого содержания анионного переносчика, электрический потенциал зависит прежде всего от распределения основного аниона — хлора. Напротив, в нервной ткани и мышечных клетках как правило открыты K^+ -каналы, и электрический потенциал определяется распределением этого катиона.

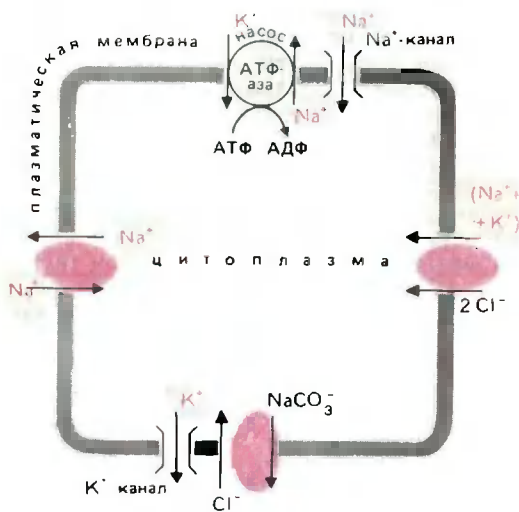
От величины электрического потенциала мембраны зависит целый ряд ее функциональных характеристик. Так, по мере деполяризации мембраны уменьшается скорость захвата медиаторов нервными окончаниями и увеличивается концентрация внутриклеточного кальция. Последний вопрос приобретает особое значение в связи с установленной в последние 10—15 лет особой ролью этого катиона в регуляции ключевых клеточных реакций.

В цитоплазме всех изученных к настоящему времени клеток концентрация свободного (ионизированного) кальция примерно 10^{-7} М. Это в 10 тыс. раз меньше, чем концентрация этого катиона снаружи клеток, т. е. в любой внеклеточной жидкости (лимфе, крови, тканевой жидкости). Увеличение концентрации кальция в цитоплазме в 10 раз, например при электрическом или гормональном возбуждении ткани за счет открытия особых потенциал-зависимых каналов, сопровождается активацией сократительного аппарата. Такое состояние клеток гладкой мускулатуры, локализованных в сосудистой стенке, приводит к увеличению сопротивления кровотоку. В нервных окончаниях этот же механизм лежит в основе выброса из цитоплазмы медиаторов, контролирующих сосудистый тонус.

Низкую концентрацию свободного кальция в клетке обеспечивают несколько систем: специальные кальциевые каналы, кальцевый насос, а также Са-транспортирующие системы внутриклеточных структур: митохондрий и эндоплазматического ретикулаума. Кальцевые насосы — это крупные белковые молекулы, пронизывающие всю толщу мембраны. Как и в случае Na^+ , K^+ -насосов, перенос иона кальция против концентрационного градиента осуществляется за счет энергии АТФ. В отличие от других мембранных образований, работа кальцевого насоса внешней (плазматической) мембраны побуждается другим сравнительно низкомолекулярным (17 кД) белком — кальмодулином. В опытах на изолированных фракциях плазматической мембраны и на очищенном препарате

Ca^{2+} -АТФазы было установлено, что кальмодулин увеличивает как скорость работы фермента, так и его сродство к кальцию. В плазматической мембране клеток электрически возбудимых тканей наряду с кальцевым насосом имеется особый переносчик, который осуществляет обмен внутриклеточного кальция на внеклеточный натрий, что также способствует понижению концентрации свободного кальция в цитоплазме.

Описанные Ca^{2+} -транспортирующие системы обеспечивают необходимую ско-



Основные пути транспорта одновалентных ионов через клеточную мембрану. Цветные эллипсы — молекулы белков-переносчиков.

рость понижения концентрации кальция в клетке после ее возбуждения. Забегая вперед, скажем, что именно эта часть цикла — возвращение концентрации внутриклеточного кальция к исходным значениям (т. е. перевод клетки в состояние покоя) — замедлена у больных гипертонической болезнью в силу особенностей функционирования Ca^{2+} -транспортирующих систем плазматической мембраны, характерных для этого заболевания. Выявлены также изменения в системах входа кальция в клетку, которые находятся под контролем электрического потенциала мембраны. Рассмотрим эти нарушения более подробно.

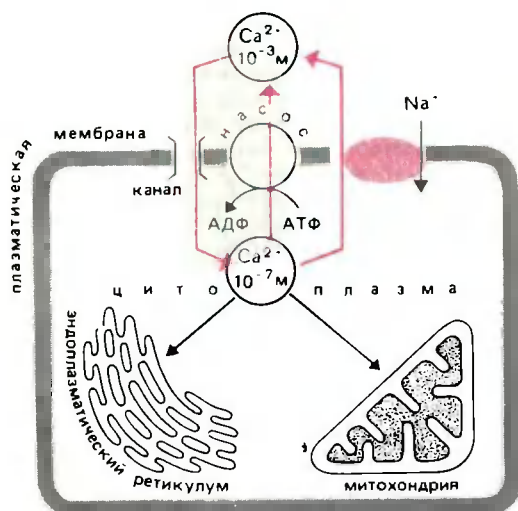
Объем журнальной статьи ограничивает в описании многочисленных предва-

рительных исследований, которые привели нас к изучению при этом заболевании катион-транспортных функций клеточных мембран. Отметим лишь, что, приступая к этой работе, мы уже не без основания предполагали, что мембранные нарушения, если таковые найдены, можно будет наблюдать не только в сократительных клетках стенок артерий, но и в клетках других тканей.

Нашу задачу облегчило появление экспериментальной модели первичной гипертонии человека, которая по основ-

ниям, похожим на патологию у людей при нелеченой гипертонической болезни. На этих животных и были получены первые данные, подтверждавшие наши предположения о нарушениях в клеточных мембранах при первичной гипертонии, которые вскоре были выявлены и у людей с гипертонической болезнью.

Первым объектом для изучения мы избрали мембрану красных кровяных телец — эритроцитов. Выбор не был случайным и вот почему. Дело в том, что эритроциты, по происхождению родствен-



Основные системы регуляции концентрации свободного кальция внутри клетки (слева) и фрагмент мембраны, содержащий молекулу кальцевого насоса.

ным характеристикам была почти идентичной клиническому прототипу. Речь идет о так называемой спонтанной генетически обусловленной гипертонии крыс. Благодаря любезной помощи Монреальского института клинических исследований мы в 1973 г. стали обладателями присланных нам из Канады спонтанно гипертонивных крыс. Линия этих животных была получена в начале 60-х годов японскими учеными К. Окамото и К. Аоки путем близкородственного скрещивания и отбора особей с повышенным артериальным давлением. Гипертония у таких крыс обычно развивается на 4—5 неделе жизни (признак передается по наследству с частотой 100 %) и в дальнейшем приводит к характерным изменениям в органах и к осложне-

ные сокращающимся клеткам стенки сосудов, в силу специализации лишены клеточного ядра, сократительного аппарата и внутриклеточных органелл. С известным допущением их можно сравнить с «контейнерами» для гемоглобина, построенными из плазматической (наружной) мембраны клетки, которая по своим свойствам и строению близка мембранам других клеток. В регуляции катионного обмена здесь участвует минимум транспортных систем, что значительно облегчает их изучение. Кроме того, достаточно простое строение мембраны эритроцитов позволяет избежать вторичных искажений мембранных функций, которые могут возникнуть в сократительных клетках сердечно-сосудистой системы в связи с их рабочей перегрузкой и гипертрофией, вызванных повышением давления крови. Мы не ошиблись в наших предположениях. Уже первые исследования, выполненные в нашей лаборатории с помощью меченого натрия (^{22}Na), показали, что в эритроцитах как у

крыс со спонтанной гипертензией, так и у людей с гипертонической болезнью, проницаемость мембраны для ионов натрия повышена в 1,5—2 раза².

Поскольку изменение проницаемости мембраны для натрия могло быть обусловлено нарушением способности белков внутренней поверхности мембраны связывать ионы кальция, мы стали изучать кальций-связывающую способность обеих поверхностей мембраны эритроцитов (наружной и внутренней). Для этого меченый кальций (⁴⁵Ca) вводили в наружную и внутреннюю

которые контактировали с меткой или только наружной, или только внутренней поверхностью мембраны, мы установили, что при первичной гипертензии крыс и людей внутренняя поверхность мембраны эритроцитов связывает кальций значительно хуже, чем наружная мембрана. Поскольку именно там располагаются кальций-связывающие белки, откачивающие ионы кальция наружу, это служило доказательством повреждения в этой транспортной системе.

Следующим шагом было изучение рабочих характеристик кальциевого насоса,

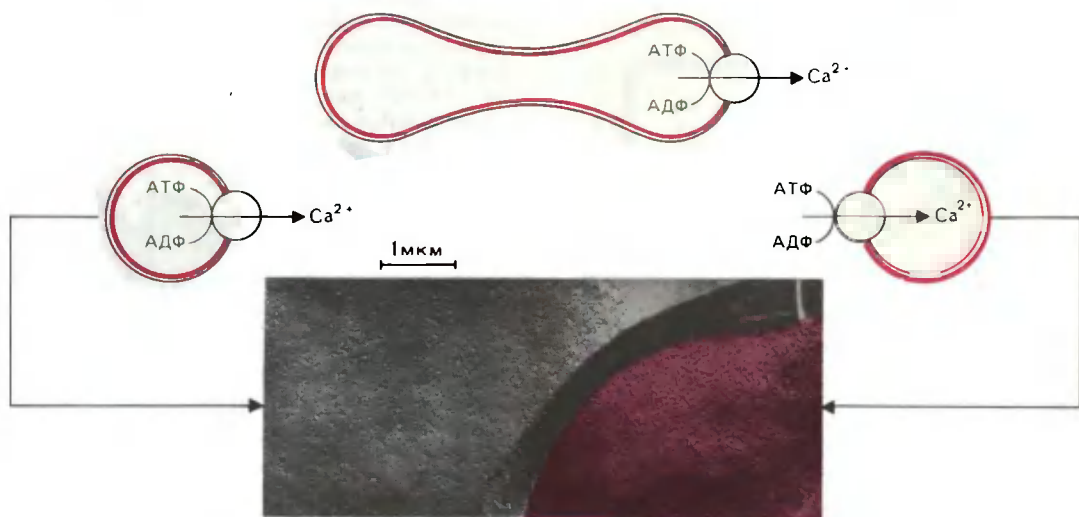


Схема функционирования кальциевого насоса в интактных эритроцитах (вверху), правильно ориентированных (слева) и вывернутых (справа) везикулах. Цветом обозначена внутренняя поверхность мембраны. Внизу — электронно-микроскопическая фотография внешней (слева) и внутренней (справа) поверхности мембраны. В центре фотографии — область раскола. Сплошное поле — липидный биолой, вкрапления на поле — белковые молекулы. Видно, что плотность белковых молекул на внутренней поверхности мембраны существенно выше, чем на внешней.

часть мембраны раздельно, используя замкнутые мембранные пузырьки эритроцитов (везикулы), приготовленные таким образом, что часть их была вывернутой, а часть имела нормально ориентированную мембрану. Таким образом, имея везикулы,

который располагается на внутренней поверхности мембраны. В эритроцитах, не имеющих ни клеточных органелл, ни механизма натриево-кальциевого обмена, мембранный кальциевый насос — единственная система, поддерживающая низкую концентрацию кальция внутри клетки. В силу уникальной простоты этой системы удалось впервые именно в эритроцитах получить основные функциональные характеристики мембранного транспорта кальция как у крыс, так и у людей с первичной гипертензией. Работу кальциевого насоса мы изучали, используя все те же вывернутые и нормально ориентированные везикулы, во внутреннем пространстве которых регистрировали меченый кальций. Поскольку транспорт кальция в этой системе при обычном расположении мембраны направлен наружу, то в пузырьках с вывернутой мембраной насос накачивает кальций внутрь пузырька. Таким образом, можно было охарактеризовать работу насоса, а также его реакцию на стимуляцию белком

²Postnov Yu. V., Orlov S. N., Shevchenko A. S., Adler A. M. — Pflügers Archiv, 1977, v. 371, p. 263.

кальмодулином. Эти исследования показали, что кальцевый насос мембраны эритроцитов у людей и крыс с гипертонией реагирует на воздействие кальмодулина слабее, чем в контроле, что может быть причиной ухудшения откачки ионов кальция из клетки во внеклеточное пространство.

Чем же вызвано нарушение работы кальцевого насоса: дефектом кальмодулина, изменением насоса или изменениями в тех участках плазматической мембраны, которые составляют окружение этой транспортной системы? Первые серии исследований (они еще продолжаются) не выявили отклонений ни в строении кальмодулина, ни в физиологических свойствах этого белка. Не было зафиксировано нарушения и в самом кальцевом насосе. В этой связи мы обратили особое внимание на структурную организацию тех частей мембран, в которые «вмонтирован» белковый комплекс. С помощью так называемых флуоресцентных зондов (соединений, молекулы которых легко встраиваются в толщу мембраны) была получена первая информация о состоянии вязкости плазматической мембраны.

Оказалось, что при первичной гипертонии повышается вязкость клеточной мембраны эритроцитов в местах контакта белков с липидами. Так как не было обнаружено нарушений в структуре (вязкости) искусственных мембран, приготовленных из мембранных липидов эритроцитов, мы предположили, что эти нарушения были вызваны изменением белкового компонента мембраны. Впоследствии это предположение подтвердилось в ряде физико-химических исследований³. Сейчас уже многое говорит в пользу того, что нарушения в комплексе кальмодулин-кальций-кальцевый насос, обнаруженные в эритроцитах при первичной гипертонии, связаны с изменением свойств белковых молекул мембраны в ближайшем окружении кальцевого насоса.

Изучая свойства мембраны эритроцитов, мы одновременно исследовали вопрос, насколько мембранные нарушения представлены в клетках других тканей. Аналогичные изменения были обнаружены и в клетках жировой ткани. Рассчи-

тав содержание обмениваемого кальция в клетках жировой ткани по скорости выхода меченого кальция, предварительно введенного в клетку, мы выяснили, что величина фонда кальция (т. е. количество свободного и связанного кальция в клетке) имеет существенно повышенное значение при первичной гипертонии.

Это дало основание предположить, что в клетках при первичной гипертонии в силу нарушенной работы мембранной кальций-транспортирующей системы имеется избыток свободного кальция, который накапливается в митохондриях и других органеллах клетки и обуславливает общее увеличение содержания в них обмениваемого кальция.

Полученные доказательства широкой распространенности мембранных нарушений в целом поддерживают гипотезу мембранного происхождения первичной гипертонии.

Хотя мы с достаточным основанием предполагали, что в результате мембранных нарушений в клетках повышается концентрация свободного кальция, доказать это прямым измерением было достаточно трудно. Традиционные методы определения кальция (изотопный обмен, атомно-абсорбционная спектрофотометрия) непригодны для свободного кальция, и применимые в различных работах концентрации этого иона в клетке были получены по косвенным данным. Лишь в последнее время применение флуоресцирующего красителя, легко проникающего в клетку и связывающего кальций, позволило наконец зарегистрировать истинную концентрацию этого катиона в клетках крови — тромбоцитах при гипертонической болезни человека и у крыс со спонтанной гипертонией. В обоих случаях она оказалась повышенной⁴.

Уже в последнее время в нашей лаборатории было показано, что при первичной гипертонии наряду с нарушением работы мембранных кальцевых насосов, выводящих кальций из клетки, изменяется и проводимость каналов, пропускающих кальций внутрь клетки. Так, у крыс со спонтанной гипертонией в нервных окончаниях (синапсах) и в тромбоцитах скорость входа кальция в клетку

³ Canessa M., Adragna N., Solomon H. S., Connolly T. M., Tosteson D. C. — *New England J. Med.*, 1980, v. 302, p. 772; Postnov Yu. V., Orlov S. N., Pokudin N. I. — *Pflügers Archiv*, 1979, v. 379, p. 191.

⁴ Orlov S. N., Pokudin N. I., Postnov Yu. V. — *Pflügers Archiv*, 1983, v. 397, p. 54; Postnov Yu. V., Orlov S. N., Reznikova M. B., Rjazhsky G. G., Pokudin N. I. — *Clinical Sci.*, 1984, v. 66, p. 459.

увеличивалась на фоне исходно сниженного электрического потенциала мембраны, что, в свою очередь, определялось повышенной проницаемостью ее для иона натрия. Все это свидетельствует о том, что недостаточность мембранной регуляции свободного кальция в цитоплазме клеток при первичной гипертензии есть результат сложного нарушения как в транспортных системах выведения этого иона из клетки, так и в системах, определяющих скорость его входа в клетку.

период, а возможно и в течение всей жизни человека. При неблагоприятных внешних воздействиях (например, постоянная нервно-психическая перегрузка), организм, имеющий мембранный дефект, значительно хуже приспосабливается, и гипертензия развивается как результат несовершенной адаптации к ним. Именно это и составляет материальную основу наследственной предрасположенности и, по-видимому, тех «конституционных особенностей» личности, о которых говорил в свое время

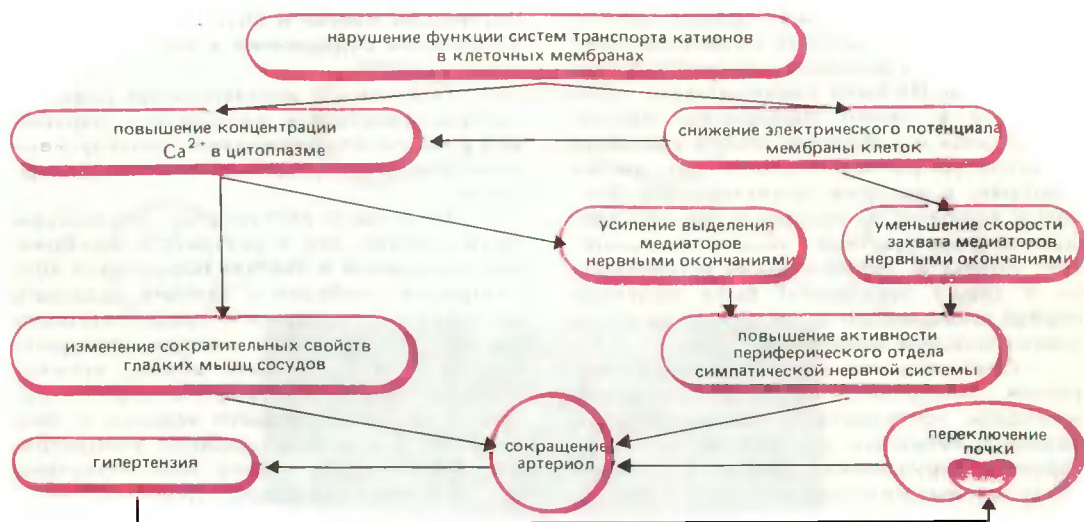


Схема возникновения гипертонической болезни.

Картина мембранных нарушений была бы неполной без упоминания о том, что все они были выявлены лишь при первичной гипертензии, но не отмечались при гипертензиях вторичных.

ОТ МЕМБРАННЫХ НАРУШЕНИЙ К ГИПЕРТЕНЗИИ

Таким образом, развитие первичной гипертензии определяется нарушением мембранной регуляции распределения кальция в клетках различных тканей, ведущим к постоянно высоким (надпороговым) концентрациям свободного кальция (Ca^{2+}). Однако недостаточность мембранной регуляции кальциевого обмена может долгое время быть компенсированной и не приводить к развитию гипертонической болезни более или менее длительный

Г. Ф. Ланг. Сам факт наследственной передачи мембранного дефекта сейчас хорошо доказан.

Итак, исследования убеждают нас, что в основе мембранных нарушений лежат врожденные особенности структуры и функции клеточных мембран, но их наличие не тождественно гипертонической болезни. Ее возникновение в значительной мере зависит от дополнительных «проявляющих» факторов, в первую очередь таких, как хроническая нервно-психическая перегрузка, и, возможно, также избыточное потребление поваренной соли с пищей, чему врачи уже давно придают значение, как одному из этиологических факторов гипертензии. Наши наблюдения, однако, не выявили повреждающего влияния хронической солевой перегрузки непосредственно на состояние клеточных мембран. Конечно это не исключает вредного действия на почки избыточного потребления хлористого натрия. Участие дополнитель-

ных факторов в «проявлении» генетических предпосылок можно было бы сравнить с воздействием солнца на людей с наследственным различием в содержании пигмента меланина в коже (т. е. сравнение людей со светлой и смуглой кожей). Длительное пребывание на солнце может вызвать ожог кожи у одних и обойтись без какого-либо ущерба для вторых.

Если говорить о конкретных путях, ведущих от нарушения мембранных функций в клетках к развитию гипертонической болезни, то сегодня очевидны три главные части этого патогенетического механизма. Во-первых, в результате дефекта мембранной регуляции клеточного кальция в мышечных клетках артерий создаются более или менее длительные надпороговые концентрации кальция, что постоянно активирует сократительный аппарат этих клеток; тем самым повышается напряжение стенок мелких артерий и усиливается их сопротивление кровотоку. Во-вторых, та же причина создает условие для повышения концентрации свободного кальция в нервных окончаниях, что и определяет (вместе с понижением мембранного потенциала) усиленное выделение нейромедиаторов, в том числе и норадреналина, оказывающего сосудосуживающее действие. И наконец, в-третьих, преходящее повышение артериального давления вызывает постепенное смещение пределов регуляции артериального давления в почке («переключение»), с наступлением которого повышенное давление становится постоянным. «Переключение» почки развивается как мера сохранения водно-солевого равновесия организма: в противном случае повышение давления вызвало бы острую потерю солей и воды.

ЗНАЧЕНИЕ НОВЫХ ДАННЫХ О ПРИРОДЕ ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

Что дали эти исследования для медицины в целом? Конечно, они существенно изменяют и уже изменили сложившееся представление о природе гипертонической болезни человека. Открывается перспектива расшифровки молекулярных основ мембранных нарушений и выяснения их связи с генетическим аппаратом клеток.

Результаты мембранных исследований открывают новые пути в поисках эффективных лекарственных средств и в разработке на их основе более радикальных, чем существующие, методов лечения. Однако здесь не следует предаваться иллюзиям:

путь коррекции мембранных нарушений кажется нам (конечно, с уровня имеющихся знаний) исключительно трудным, требующим больших усилий и огромных средств.

Уже само обнаружение мембранного дефекта среди людей молодого возраста могло бы сослужить большую пользу для профилактики гипертонической болезни. На наш взгляд, это особенно важно при проведении отбора для профессий, связанных с постоянно повышенным вниманием и большим нервным напряжением: наличие артериальной гипертензии здесь часто является абсолютным противопоказанием. Применение мембранного теста (регистрация проницаемости мембран эритроцитов для натрия, например) позволит ориентировать людей в выборе профессии с тем, чтобы избежать всей сложной суммы издержек, связанных с необходимостью ее перемены. Мембранный тест может применяться как дополнительный диагностический критерий при дифференциальной диагностике первичной и вторичных гипертензий, что нередко бывает крайне сложным и в то же время необходимым для правильного лечения (например, радикального хирургического вмешательства при некоторых формах вторичных гипертензий, вызываемых опухолями). Первые результаты в совместной работе с кафедрой госпитальной терапии 2-го Московского медицинского института уже дали хорошие результаты как по выявлению фактора риска гипертонической болезни среди рабочих и служащих одного из московских заводов, так и по применению его для диагностических целей.

Мембранная концепция первичной гипертензии уже сейчас подтверждается большим фактическим материалом, но исследования в этой области еще продолжаются.

Кварконий — атом из кварков

И. М. Дремин



Игорь Михайлович Дремин, доктор физико-математических наук, заместитель заведующего Отделом теоретической физики им. И. Е. Тамма Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Область научных интересов — физика высоких энергий.

Предсказывать нетрудно. Трудно делать предсказания, которые оправдываются. Одно из таких предсказаний было сделано в начале 1975 г. американскими физиками Т. Appelkvистом и Д. Политцером¹. Они показали, что может существовать семейство тяжелых элементарных частиц, которые по своим свойствам сильно напоминают обычные атомы, но, в отличие от последних, составлены из кварков.

Их выводы базировались на открытии новой частицы, сделанном двумя группами экспериментаторов в конце 1974 г. Впоследствии ее назвали J/ψ -частицей. Вскоре обнаружилось многочисленное родство J/ψ , и все семейство было подробно исследовано на опыте. Так было найдено новое состояние вещества — «атомы», составленные из кварков. Руководители экспериментов С. Тинг и Б. Рихтер удостоены Нобелевской премии за 1976 г.²

Столь высокая оценка этого открытия и пристальный интерес физиков к новым

частицам связаны с тем, что системы такого типа (а сейчас их зарегистрировано уже около двух десятков) наиболее удобны для исследования сил, действующих внутри элементарных частиц. Эти силы — их называют цветовыми — самые мощные из всех известных нам сил природы. Понять характер цветовых сил и научиться использовать их — одна из основных задач, стоящих перед физикой элементарных частиц.

КВАРКИ И ЦВЕТОВЫЕ СИЛЫ

Ребенок, получивший в руки матрешку, открывает игрушки одну за другой, пока не дойдет до последней, «элементарной» — не поддающейся разбору. Путь человечества в познании основных составляющих вещества чем-то напоминает эту игру. Вспомним, что еще не так давно самыми элементарными объектами казались атомы, затем — ядра и электроны, потом разнообразные частицы, за которыми прочно укрепился термин «элементарные частицы». Сейчас пришло время кварков и глюонов, но уже поговаривают о преонах, «сидящих» внутри кварков.

Почему же физикам пришла в голову мысль, что элементарные частицы отнюдь не элементарны? Дело в том, что в 50-е годы число таких частиц, открываемых на

¹ Appelquist T., Politzer D. H. — Phys. Rev. Lett., 1975, v. 34, p. 43.

² См.: Нобелевские лекции. Рихтер Б. От ф к очарованию (Эксперименты 1975—1976 гг.) — Усп. физ. наук, 1978, т. 125, вып. 2, с. 201; Тинг С. Открытие J -частицы (Личные впечатления). — Там же, с. 227.

новых ускорителях, бурно росло и попытки систематизировать их (вспомним о Периодической системе элементов Д. И. Менделеева!) привели в 1964 г. М. Гелл-Манна и Дж. Цвейга к предположению о том, что сильновзаимодействующие частицы — адроны — обладают внутренней структурой. А именно, они состоят из кварков, которые могут комбинироваться двумя способами³. Три кварка, связанных вместе, составляют барион — представитель группы адронов, в которой легчайшими частицами являются протон и нейтрон. Связанная система из кварка и антикварка называется мезоном — наименьшей массой обладает в этой группе пион.

Все частицы, которые были известны вплоть до описанного выше открытия 1974 г. (а их было уже около сотни), удавалось представить в виде комбинаций кварков трех сортов (или, как говорят, ароматов) — верхнего u (от англ. up — вверх), нижнего d (от англ. down — вниз) и странного s (от англ. strange — странный). Это сравнительно легкие кварки, и потому частицы, составленные из них, также не очень тяжелые. Казалось бы, этих частиц уже достаточно для изучения сил, действующих между кварком и антикварком внутри адрона. Однако извлечь эту информацию необычайно трудно, так как массы u -, d - и s -кварков сравнимы с их энергиями связи в адроне. Поэтому легкие кварки движутся в адроне со скоростями, близкими к скорости света, и, кроме того, могут рождался из вакуума дополнительные кварк-антикварковые пары. Для описания таких систем необходимо использовать сложные методы квантовой теории поля, а при достаточно сильной связи такие вычисления проделать очень трудно.

Еще в 60-е годы Дж. Бьёркен и Ш. Глэшоу привели теоретические аргументы в пользу того, что должен существовать кварк с новым, четвертым ароматом (c), который они назвали очарованием (от англ. charm). Оценки, проведенные Ш. Глэшоу с сотрудниками, показали, что этот кварк должен быть заметно (примерно в пять раз) тяжелее первых трех. Именно поэтому Т. Appelquist и Д. Politzer пришли к выводу, что очарованный кварк и антикварк могут образовывать целое семейство связанных состояний, у которых энергия связи мала по сравнению с массами кварков, и, следовательно, кварки в таких системах движутся медленно, с нереля-

тивистскими скоростями. Теоретическое описание систем из c - и $\bar{c}$ -кварков заметно проще и извлекаемая информация нагляднее, нежели в случае более легких адронов.

Открытие С. Тинга и Б. Рихтера подтвердило существование очарованных кварков. Сейчас известны кварки еще двух ароматов — b (от англ. bottom — низ, дно) и t (от англ. top — верх, вершина). Их массы примерно в 3 и 30 раз превышают массу очарованного кварка⁴. Они также могут образовывать совместно с антикварком связанные нерелятивистские состояния. Связанные системы $c\bar{c}$, $b\bar{b}$, $t\bar{t}$ получили соответственно названия чармоний, боттомоний, топоний, а общее для всех них название — кварконий.

Какие же силы удерживают кварки внутри адронов? Электрон в атоме взаимодействует с ядром за счет электрического заряда. Кварки каждого аромата также обладают электрическими зарядами, но, что более важно, они обладают еще и «цветом» — зарядом, обуславливающим силы взаимодействия, намного более мощные, нежели электромагнитные. Именно эти цветовые силы и определяют характер связи кварков в адронах.

Электрический заряд может быть положительным или отрицательным (антиположительным). Цветовые заряды могут быть трех типов: условно им дали названия красный, желтый, синий (хотя никакого отношения к цвету в обычном понимании этого слова они не имеют); им соответствуют три «антицвета».

Увеличению числа зарядов отвечает и увеличение числа переносчиков взаимодействия. Если электромагнитное взаимодействие передается путем обмена одной частицей — электрически нейтральным фотоном, то цветовые взаимодействия могут передавать восемь разных переносчиков — их называют глюонами (от англ. glue — клей), которые сами обладают цветовым зарядом и как бы «склеивают» кварки внутри адронов.

Итак, кварки и антикварки, наряду с электрическим зарядом, имеют еще и цветовые заряды, а взаимодействие между ними обусловлено обменом глюонами. Характер и специфику цветовых сил можно наглядно описать, прибегнув к сопоставлению их с силами электромагнитными и сравнив кварконии с обычными атомами.

³ Подробнее о кварках см.: Шехтер В. М. Кварки. — Природа, 1980, № 2, с. 53.

⁴ Подробнее о тяжелых кварках см.: Хозе В. А., Шифман М. А. Тяжелые кварки. — Усп. физ. наук, 1983, т. 140, вып. 1, с. 3.

ОБЫЧНЫЕ АТОМЫ И АТОМЫ ИЗ КВАРКОВ

Все новое — это хорошо забытое старое. Парадоксальный смысл этой шутки можно было бы расшифровать и так — новые явления зачастую имеют свои аналоги в фактах, хорошо известных с давних пор. И здесь, для того чтобы описать природу сил, ответственных за образование кваркония (а также понять само это название), нам следует прежде всего напомнить основные свойства обычных атомов. Эти свойства мы можем описывать теоретически с достаточной уверенностью только потому, что сумели сформулировать уравнение, описывающее динамику таких систем, уравнение Шредингера, и понять, какие силы притягивают электроны к атомному ядру. Это силы электромагнитного взаимодействия, они подчиняются закону Кулона, т. е. пропорциональны произведению электрических зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между этими зарядами. Мерой силы электромагнитного взаимодействия служит постоянная тонкой структуры — безразмерная константа $\alpha = \frac{e^2}{4\pi\hbar c}$ (где e — заряд электро-

на, $\hbar$ — постоянная Планка, c — скорость света). Она невелика — ее численное значение примерно равно $1/137$. Это обстоятельство оказывается практически важным, так как при решении задач о структуре атомов позволяет использовать хорошо известный метод теории возмущений.

Самый простой атом состоит всего из двух частиц — протона и электрона. Это атом водорода. Можно попытаться видоизменить его состав с условием, чтобы электромагнитное взаимодействие оставалось тем же. Скажем, вместо электрона можно запустить на орбиту вокруг протона отрицательно заряженный мюон. Такие мезоатомы действительно удалось получить в лабораториях, но живут они очень недолго: слабое взаимодействие приводит к распаду мюона или к поглощению его ядром. Можно сделать иначе: оставить на орбите электрон, а вместо протона поставить позитрон — частицу, полностью аналогичную электрону, только с обратным знаком заряда. В этом случае получается атом, названный позитронием. Он характерен внутренней симметрией — позитрон и электрон в нем полностью равноправны, если не обращать внимания на знак заряда.

Точно такой же внутренней симметрией обладают и системы из одинаковых

кварка и антикварка. Потому-то они и получили название, созвучное позитронию, — кварконий.

Позитроний может быть полностью описан с огромной точностью теорией, носящей название «квантовая электродинамика» (или сокращено КЭД). Теория взаимодействия цветовых зарядов во многом близка КЭД, и потому она получила название «квантовая хромодинамика» (КХД). Закон поведения цветовых сил на малых расстояниях оказывается весьма похожим на кулоновский. Естественно, константа пропорциональности здесь больше электромагнитной, но, что весьма существенно, она слабо (логарифмически) уменьшается при уменьшении расстояния между кварками. Кварконий — система из тяжелых кварка и антикварка, находящихся на сравнительно малых расстояниях друг от друга, т. е. в области, где цветовые взаимодействия теоретически изучены довольно хорошо. Именно поэтому Appelqvist и Politzer могли утверждать, что чармоний будет уже достаточно нерелятивистской системой. Еще более нерелятивистскими системами оказываются боттомоний и топоний. Это позволяет применить к ним хорошо известное уравнение Шредингера и рассчитать весь спектр состояний системы.

Что касается поведения взаимодействий кварка с антикварком на больших расстояниях, то оно нам пока недостаточно ясно. Есть основания полагать, что сила, действующая между ними, весьма велика (16 тонн!) и постоянна — не зависит от расстояния. Если это так, то энергия, необходимая для отделения кварка от антикварка, безгранично возрастает по мере того, как эти частицы удаляются друг от друга. Такой закон поведения сил мог бы объяснить, почему цветные частицы (кварки, глюоны) не наблюдались поодиночке, в свободном состоянии.

Обычно считают, что кварки как бы сидят на концах «струны» (или, еще более наглядно, на концах сверхпрочного резинового жгута). На расстояниях, меньших характерных размеров адронов, струна не натянута и кварки совершенно свободно двигаются в пределах этой области — они асимптотически свободны. Однако при любой попытке одного из кварков выскочить из адрона, струна натягивается и удерживает его в этой своеобразной «тюрьме». Тем не менее при большой энергии относительного движения кварков струна может разорваться, но в месте ее разрыва, на концах, опять появится по одному кварку — они родились из вакуума за счет

цветового взаимодействия. Теперь у нас две новые струны вместо одной — начальный адрон распался на два (например, ρ -мезон на два пиона). Но в кваркониях относительное движение кварка и антикварка медленное, струна не рвется и потому кварконий может распасться, лишь когда кварк и антикварк встречаются в одной точке и аннигилируют, порождая глюоны, превращающиеся затем в новые адроны. Такая аннигиляция происходит сравнительно редко, и потому кварконии по ядерным мер-

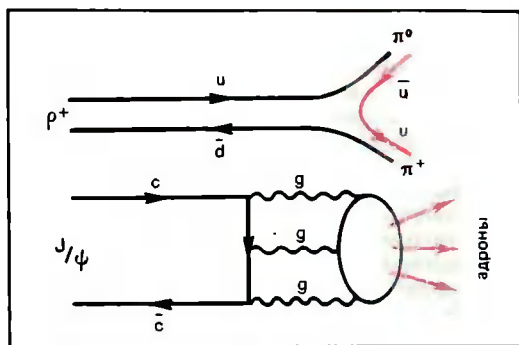


Схема распада ρ^+ -мезона на два пиона — π^0 и π^+ (вверху). В кварковой модели такой распад интерпретируется как рождение новой кварк-антикварковой пары (разрыв струны). Кварки, входившие в состав ρ^+ -мезона, не исчезают, а продолжают свое существование внутри пионов. Поэтому ρ^+ -мезон можно рассматривать как квазисвязанную систему. Распад чармония J/ψ в адроны описывается как результат аннигиляции составляющих его кварков (c и $\bar{c}$) в глюоны (g), которые затем превращаются в адроны.

кам живут весьма долго — около 10^{-12} с (на одиннадцать порядков больше характерных ядерных времен).

Итак, подводя итог, можно сказать, что кварконии обладают целым рядом привлекательных черт. Во-первых, это мезоны — двухчастичные системы, состоящие из кварка и антикварка. Их теоретическое описание значительно проще, чем решение задачи трех тел в случае барионов. Во-вторых, это истинно связанные, сравнительно долгоживущие системы (а не квазисвязанные, как обычные легкие мезоны — типа ρ -мезона). В-третьих, скорости движения кварков в кваркониях нерелятивистские и потому их теоретическое описание более определено, нежели для легких мезонов.

В-четвертых, кварконии очень компактны — их размеры меньше 1 ферми $= 10^{-13}$ см. А это и есть то расстояние, на котором уже начинает проявлять себя «асимптотическая свобода».

Эти привлекательные черты и многообещающие перспективы изучения кваркониев вызвали к жизни серию экспериментальных и теоретических работ по спектроскопии кваркониев. Как обычно, под термином «спектроскопия» подразумевается изучение энергетических уровней связанных систем и всевозможных переходов между ними. Цель спектроскопических исследований — выявление внутренней структуры объекта, определение природы его составляющих и динамики их взаимодействия.

АТОМНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Для полного описания связанной квантовомеханической системы необходимо задать ее энергию, момент импульса и вероятности переходов в другие состояния.

Энергия системы с заданным моментом обычно характеризуется главным квантовым числом $n=1,2,3,\dots$. Чем больше n , тем большей энергией (массой) обладает данное состояние. В двухчастичных системах полный момент обусловлен тремя факторами: собственными моментами (спинами) компонентов и орбитальным моментом, обусловленным движением этих двух тел вокруг общего центра масс. В результате, состояние системы можно характеризовать следующим символом $n^{2S+1}L_J$ (S — это суммарный спин компонентов, L — орбитальный момент, J — полный момент импульса системы, n — главное квантовое число)⁵.

Орбитальный момент может принимать целочисленные значения 0, 1, 2, 3 и т. д., при этом на место буквы L ставятся соответственно буквы S, P, D, F и т. д.

Кулоновская сила между электроном и позитроном зависит только от зарядов этих частиц и от расстояния между ними, но не зависит от момента. Однако движение частиц приводит к появлению электрических токов и магнитных полей, которые, в свою очередь, вызывают дополнительное притяжение и отталкивание, что может изменить энергию состояния за счет

⁵ Иногда вместо этих трех символов применяется запись в виде nP^C , где $P=(-1)^{L+1}$, $C=(-1)^{L+S}$. P называется пространственной четностью, а C — зарядовой четностью системы.

спин-спинового или спин-орбитального взаимодействия. Например, в состоянии 1^1S_0 спины антипараллельны и в результате появляется дополнительное притяжение между частицами. В состоянии 1^3S_1 спины параллельны и возникает отталкивание, вследствие чего это состояние имеет большую энергию, нежели 1^1S_0 . Аналогичные эффекты проявляются и в кварконии.

Как и позитроний, кварконий хотя и связанная, но не абсолютно стабильная система. Кварконий с большой массой может перейти в состояние с меньшей массой, испустив фотон. Это так называемые радиационные переходы между уровнями системы. Кроме того, кварк и антикварк в кварконии могут сблизиться и исчезнуть, аннигилировать. Энергия, эквивалентная массе кваркония, выделяется в виде энергии более легких адронов или лептонов (частиц, не участвующих в сильных взаимодействиях).

Состояния любой квантовомеханической системы описываются некоторыми функциями, называемыми волновыми. Квадрат волновой функции кваркония характеризует вероятность появления кварка или антикварка в данной точке пространства. Поэтому, например, скорость распада S-состояний кваркония при взаимной аннигиляции кварка и антикварка пропорциональна вероятности обнаружить их в одной точке, т. е. квадрату функции при нулевом расстоянии между ними.

Все распады подчиняются законам сохранения энергии, импульса, электрического заряда. Имеются и другие законы сохранения, влияющие на скорость распада. Например, во всех взаимодействиях, обусловленных электромагнитными и цветовыми силами, сохраняется зарядовая четность C. У фотона внутренняя зарядовая четность равна -1 . Вспомнив данное выше определение зарядовой четности (см. сноску 5), мы легко сообразим, что в четное число фотонов (глюонов⁶) могут переходить лишь те состояния позитрония (кваркония), у которых сумма $L+S$ есть четное число. Для состояний с нечетным значением $L+S$ возможен переход лишь в нечетное число фотонов (глюонов). Эти ограничения заметно влияют на скорости распадов позитрония (кваркония), иными словами, на время жизни данного состояния.

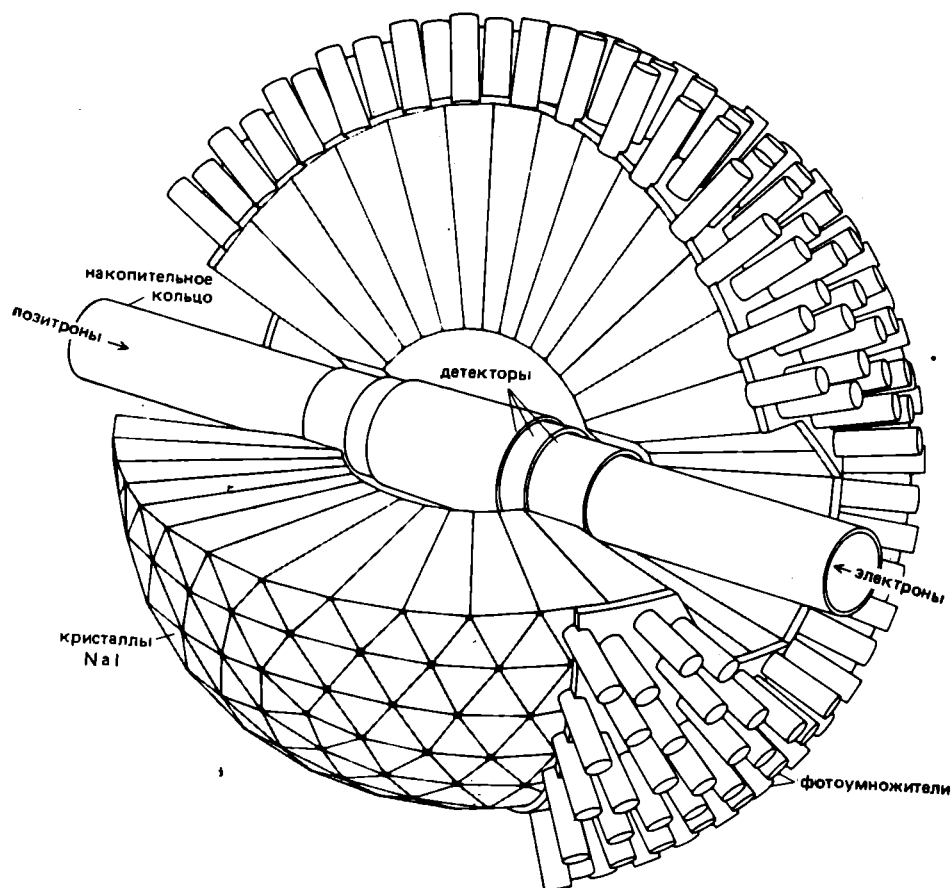
КАК ПОЛУЧАЮТ И ДЕТЕКТИРУЮТ КВАРКОНИИ

Для того чтобы изучить свойства кваркония, надо его прежде получить. Сделать это можно, вообще говоря, столкнув любые частицы достаточно высоких энергий. Так, группа Тинга впервые наблюдала чармоний, родившийся в столкновениях адронов. Его называли J-частицей. В то же время группа Рихтера обнаружила чармоний в электрон-позитронной аннигиляции и назвала его ψ -частицей.

Процесс электрон-позитронной аннигиляции наиболее эффективен для рождения кваркония. При аннигиляции электрон и позитрон переходят в виртуальный фотон, который, в свою очередь, может превратиться в кварк-антикварковую пару, образующую связанное состояние, если начальные энергии были подобраны таким образом, что полная энергия системы как раз равна массе (в энергетических единицах) кваркония. Ускорив потоки электронов и позитронов до необходимой энергии, их заставляют вращаться в противоположных направлениях внутри тороидальной вакуумной камеры. Такие устройства называются накопительными кольцами. У нас в стране такая установка с достаточно высокой энергией имеется в Новосибирске в Институте ядерной физики СО АН СССР. В США накопительные кольца действуют в Ускорительном центре Стэнфордского университета (установка SPEAR) и в Корнеллском университете (установка CESR). Максимальная энергия столкновения электронов и позитронов достигнута на установке PETRA (Гамбург, ФРГ) — при соударении частиц выделяется 46 ГэВ (энергия, эквивалентная 46 массам протона). В Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН, Женева) создается электрон-позитронное кольцо LEP на 100 ГэВ (вторая очередь установки рассчитана на 200 ГэВ). Ведется работа над интересными проектами в Новосибирске и Стэнфорде.

Двигаясь навстречу друг другу в накопительных кольцах и сталкиваясь, электрон и позитрон аннигилируют, превращаясь в другие частицы. Чем выше энергия, тем больше среднее число рождающихся частиц. Область взаимодействия позитрона с позитроном окружают детекторами, с помощью которых измеряют энергии, массы, углы вылета. Это весьма хитроумные и дорогостоящие устройства, начиненные современной электроникой и подсоединяемые обычно к ЭВМ, которая обрабатывает информацию с детектора. Напри-

⁶ Конечно, потом эти глюоны перейдут в какие-то адроны, и на опыте будет наблюдаться распад кваркония в адроны. Промежуточный этап важен для теоретического описания таких адронных распадов.



Схематическое изображение установки «Crystal Ball», на которой получено множество важных результатов о кваркониях. Она размещена вокруг области взаимодействия электронов с позитронами и регистрирует частицы, рождающиеся при распаде кваркония: заряженные — путем измерения ионизации, нейтральные — по поглощению фотонов в кристаллах и последующей регистрации фотоумножителем световой вспышки, возникающей при этом.

мер, в установке «Crystal Ball» (Хрустальный шар) для регистрации фотонов используются 732 кристалла NaI, окружающие зону взаимодействия и соединенных с фотоумножителями, а кроме того, специальные детекторы для определения характеристик заряженных частиц. Это позволяет достичь очень высокой точности — от 1 до 3 % — при измерениях энергии и углов вылета частиц.

Прежде всего на таких установках обычно измеряют зависимость скорости рождения адронов от начальной энергии аннигилирующих электрона и позитрона. При некоторых энергиях наблюдается резкое возрастание скорости рождения частиц. Такие острые пики сигнализируют о появлении короткоживущих мезонов. Затем эти мезоны детально исследуются.

СВОЙСТВА КВАРКОНИЯ

Что же измеряется у кваркониев и какую информацию можно извлечь из экспериментов?

Как уже упоминалось, вначале исследуются энергетические уровни системы. Это подразумевает изучение положения уровней по шкале энергий (величины масс кваркониев), их классификацию (квантовые

числа уровней), анализ тонкого и сверхтонкого расщепления уровней. Отсюда извлекаются сведения о форме потенциала взаимодействия кварка с антикварком в интервале расстояний, близких к среднеквадратичному радиусу систем, и других свойствах потенциала (как, например, о его зависимости от аромата кварков), о поведении волновых функций на таких же расстояниях, о спин-орбитальном (тонкое расщепление) и спин-спиновом (сверхтонкое расщепление) взаимодействиях составляющих кварков.

Затем измеряются полная вероятность (ширина) распада кваркония, а также вероятности его распадов в адроны и лептоны. Это дает сведения о величине волновой функции (для S -состояний) или ее производных (для P - и т. д. состояний) при нулевом расстоянии, или, иными словами, в тот момент, когда кварк и антикварк сходятся в одной точке, а также об электрическом и цветовом зарядах кварков.

И, наконец, экспериментально изучаются радиационные переходы между уровнями кваркония, т. е. измеряются вероятности (или отношения вероятностей) переходов и определяются их мультипольности. Эти характеристики дают нам сведения о поведении волновой функции на сравнительно больших расстояниях (превышающих среднеквадратичный радиус) и о роли релятивистских эффектов в данной системе.

Таким образом, сведения весьма обильны и фактически удается определить поведение волновой функции системы в достаточно широком интервале расстояний, что крайне важно для понимания динамики взаимодействия кварков.

Начало всей истории кваркониев, как уже было сказано, положило открытие J/ψ -мезона в 1974 г. в адронных соударениях и в электрон-позитронной аннигиляции. В исследованиях с электрон-позитронными пучками обнаружили, что скорость рождения адронов возросла в сотни раз по сравнению с обычной, когда энергия сталкивающихся пучков была выбрана в точности равной 3097 МэВ. Найденный пик был заметно уже пиков, наблюдавшихся при более низких энергиях. Большая масса или малая вероятность распада нового мезона легли в основу гипотезы о том, что найдено наинизшее по энергии связанное состояние очарованных кварка и антикварка, т. е. 1^3S_1 -состояние чармония. J/ψ -частица является связанным состоянием c - и $\bar{c}$ -кварков, потому что она не может распадаться так, чтобы составляющие ее квар-

ки сохранились в продуктах распада. Этому мешает закон сохранения энергии. Легчайшие системы, в которых есть c -кварки, называются D -мезонами. Они состоят из очарованного кварка и одного из легких кварков u или d . Но сумма масс D - и $\bar{D}$ -мезонов оказывается больше массы J/ψ -частицы, и она никак не может распасться на пару $D\bar{D}$.

При электрон-позитронной аннигиляции непосредственно могут рождаться только 3S_1 -состояния, полный момент которых совпадает с моментом виртуального фотона. Спины кварка и антикварка здесь параллельны. Эти состояния — аналоги ортопозитрония. Сразу же предположили, что, постепенно увеличивая энергию сталкивающихся пучков, удастся найти следующее 3S_1 -состояние чармония с главным квантовым числом, равным 2. И действительно, через две недели после открытия J/ψ было обнаружено новое состояние (названное ψ') с массой 3686 МэВ.

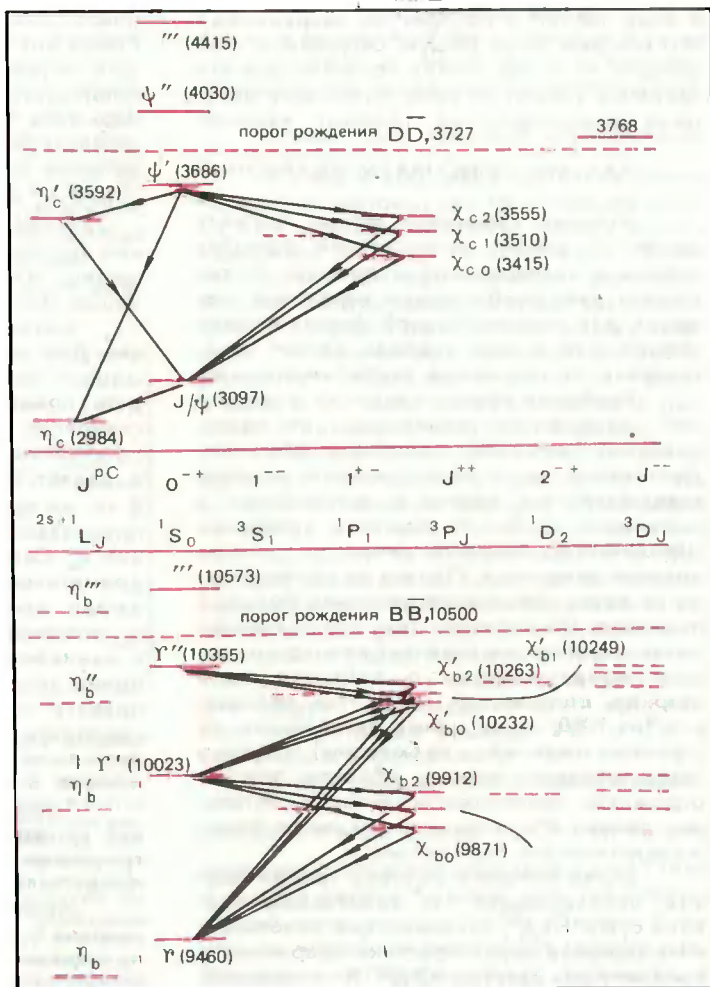
Затем были найдены еще более высоко лежащие уровни чармония, которые являются квазисвязанными, так как их энергия достаточна для рождения пары $D\bar{D}$ -мезонов.

Но если представление о том, что чармоний — это «атом» из очарованных кварка и антикварка, правильно, то должны существовать как состояния, аналогичные парапозитронию (S -состояния с антипараллельными спинами), так и состояния с отличным от нуля орбитальным моментом. Непосредственно путем аннигиляции электрона и позитрона их получить невозможно. «Фабрикой» таких состояний стала частица ψ' , которая, испуская фотон, может превращаться в любое из них. Единственной трудностью является получение синглетного состояния с нулевым спином и единичным орбитальным моментом, т. е. 1^1P_1 . Поскольку вероятность переходов между этим состоянием и всеми остальными очень мала, обнаружить его оказывается крайне трудно. И действительно, оно до сих пор не найдено.

Чрезвычайно успешными оказались поиски связанных состояний более тяжелых b -кварков⁷. Первое сообщение об открытии низшего состояния этого семейства — Y -частицы с массой 9460 МэВ — появилось в 1978 г. Кварк b примерно втрое тяжелее очарованного. Образованные им связанные состояния тяжелее, а поэтому меньше размером, нежели чармоний. Ожидается, что

⁷ Подробнее о семействе боттомония см.: Данилов М. В., Зайцев Ю. М. Спектроскопия Y -мезонов. — Природа, 1984, № 5, с. 26.

Схема расположения уровней чармония (вверху) и боттомония (внизу). Сплошными линиями указаны обнаруженные на эксперименте уровни, штриховыми — предсказываемые потенциальными моделями, но пока еще не зарегистрированные экспериментально (в скобках даны массы в МэВ). Между семействами приведены спектроскопические обозначения уровней. Главные квантовые числа уровней растут в каждом столбце данного семейства снизу вверх. Кроме того, указаны радиационные переходы между уровнями.



семейство боттомония намного более обширно, но пока найдено всего 9 состояний под порогом рождения В-мезонов — частиц, содержащих b-кварк в сочетании с одним из легких кварков.

В 1984 г. появились первые сообщения об экспериментальном обнаружении t-кварка на коллайдере ЦЕРНа. Масса его оценивается примерно в 40 ГэВ. Значит, масса топония должна быть около 80 ГэВ. Пока еще нет электрон-позитронных колец, способных ускорить электроны и позитроны до таких энергий. Надо ждать запуска большого ускорителя такого типа, сооружаемого в ЦЕРНе. Конечно, топоний может рождаться на протон-антипротонном кол-

лайдере ЦЕРНа, но вероятность этого процесса очень мала и его выделение на фоне других адронных процессов крайне затруднено.

Модели кваркония предсказывают, что спектроскопия топония будет намного более богатой, чем у его предшественников. Так, вместо двух или трех 3S_1 -состояний здесь уже будет порядка 10 таких подпороговых состояний. Нас ждут увлекательные исследования и, возможно, приятные неожиданности.

Сведения о распадах кваркония настолько обильны, что их подробное обсуждение явно выходит за рамки научно-популярной статьи. Обычно они приводятся

в виде таблиц в обзорах по кваркониям⁸. Мы опишем лишь общую ситуацию в этой области — с тем чтобы показать, как эти сведения влияют на наше понимание динамики взаимодействия тяжелых кварков.

КАК МЫ ОПИСЫВАЕМ КВАРКОНИЙ

История кваркония может служить одной из лучших иллюстраций единства теории и эксперимента в физике. Эксперимент дает необходимые начальные сведения для количественной формулировки теории, а та, в свою очередь, делает предсказания, проверяемые экспериментально.

Наиболее полные сведения о кварконии извлекаются теоретиками из потенциальных моделей подобных объектов. Достаточно задать потенциальную энергию взаимодействия кварка с антикварком в кварконии, чтобы из решения уравнения Шредингера получить сведения о всех уровнях кваркония. Однако за словом «задать» здесь скрывается довольно большой произвол. Он оправдан тем, что «задание» потенциала все же отвечает некоторым нашим представлениям о взаимодействии кварков, полученным из других источников (из КХД — на малых расстояниях, из струнных моделей — на больших), и, кроме того, позволяет единым образом описать огромную совокупность экспериментальных данных при минимальном числе феноменологических параметров.

Более близок к основам теории подход, использующий так называемые правила сумм КХД⁹, связывающие некоторые интегральные характеристики кваркония с параметрами вакуума КХД¹⁰. К сожалению, этот метод может быть применен лишь к основным состояниям кваркония с данными квантовыми числами.

Первое теоретическое предсказание связанного состояния очарованных кварков — чармония — было неполным, поскольку масса чармония не фиксировалась. Лишь после экспериментального обнаружения чармония и определения массы

очарованного кварка можно было, подставив это значение массы и соответствующий потенциал в уравнение Шредингера, предсказать положение других уровней чармония. Открытие ψ' -мезона и его радиационных переходов в мезоны χ_c (т. е. определение масс χ_c) подтвердило предсказания столь простой модели. Квантовые числа χ_c -мезонов определялись по характеристикам адронов, испускаемых при распаде этих частиц, или же по угловому распределению фотонов.

Ситуация с η_c -мезонами не столь проста. Для определения их положений с помощью потенциальных моделей надо задать новый параметр — величину спин-спинового взаимодействия. Поэтому само положение η_c не определяется моделью, а задается лишь связь между η_c и η'_c . В то же время правила сумм КХД давали предсказания непосредственно о положении η_c . Ситуация здесь долгое время была драматической. Экспериментаторы предлагали кандидаты на роль частиц η_c и η'_c , которые имели массы, не совпадающие с оценками теоретиков. И лишь в 1979 г. более точные эксперименты подтвердили правоту теории и показали, что прежние кандидаты в η_c были результатом каких-то экспериментальных ошибок. То же произошло в 1981 г. и с кандидатами в η'_c .

Таким образом, открытие всех состояний чармония (кроме 1P_1) было истинным триумфом теории, подтверждением наших представлений об атомах из кварков.

Аналогичная чармонии система из кварков b и $\bar{b}$ — боттомоний — еще более привлекает теоретиков, так как b -кварк примерно втрое тяжелее очарованного, а потому боттомоний служит лучшим приближением истинно нерелятивистской системы. В 1977 г. были обнаружены сразу три 3S_1 -состояния боттомония, что подтвердило предсказания потенциальной модели. Затем удалось найти 6 состояний 3P_1 (два триплета χ_b и χ'_b). Поразительно, что и здесь с высокой точностью оправдались выводы моделей с простейшими потенциалами. Вместе с тем эти открытия поставили некую загадку перед теоретиками: результаты, полученные с помощью правил сумм КХД и джетеновавшие на высокую точность, не подтвердились на опыте, когда в 1983 г. открыли триплет χ_b .

Потенциальные модели предсказывают много состояний боттомония, которые, видимо, еще предстоит открыть. Не начато пока и экспериментальное исследование топония. Видимо, и здесь предстоит встретиться со многими неожидан-

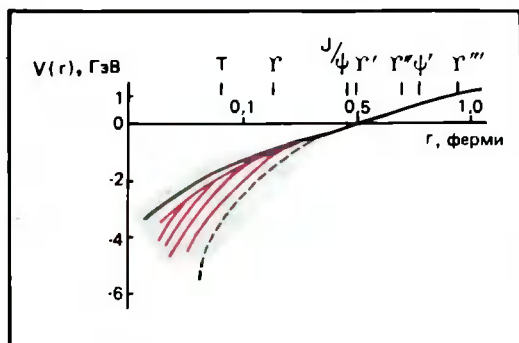
⁸ См., напр.: Быков А. А., Дремин И. М., Леонидов А. В. — Усп. физ. наук, 1984, т. 143, вып. 1, с. 3.

⁹ О подходе, основанном на правиле сумм, подробнее см.: Волошин М. Б. Спектр чармония и взаимодействие кварков. — Природа, 1979, № 1, с. 54; Вайнштейн А. И. и др. — Усп. физ. наук, 1980, т. 131, с. 537.

¹⁰ Подробнее о свойствах вакуума квантовой теории поля, и в частности о вакууме КХД, см.: Макеев Ю. М. Численные эксперименты в теории сильного взаимодействия. — Природа, 1984, № 3, с. 3.

ностями. Топоний особенно интересен тем, что его размеры должны быть меньше десятой доли ферми, т. е. асимптотическая свобода КХД здесь должна играть первостепенную роль. Вместе с тем различные предложенные ранее феноменологические потенциалы взаимодействия сильно отличаются друг от друга в этой области и потому дают разные предсказания. Результаты экспериментов позволяют выбрать наиболее правильный из них.

Интересно, что в игру может вме-



Различные потенциалы, используемые для описания свойства кваркония. Существенно, что все они практически совпадают в области расстояний, характерных для чармония и боттомония, но уже заметно отличаются в области топония (соответствующие расстояния указаны над осью абсцисс). Наиболее медленно меняется степенной потенциал (изображен сплошной черной линией), близок к нему логарифмический потенциал; наиболее быстро меняется так называемый корнелльский потенциал (изображен пунктирной линией), описывающий сумму линейного и кулоновского (без асимптотической свободы) потенциалов. В промежутке между ними расположены различные потенциалы, учитывающие асимптотическую свободу (цветные линии). Когда будут получены данные о топонии, можно будет выбрать наиболее подходящий из этих потенциалов.

шаться и своеобразное свойство кварков резко изменять массу на таких расстояниях. Может оказаться, что топоний будет заметно отличаться от других кваркониев тем, что в чармонии и боттомонии кварк и антикварк как бы одеты в собственные глюонные «шубы», тогда как в топонии кварк и антикварк сходятся вместе настолько плотно, что их глюонные «шубы» обобществляются.

Опыт покажет, какие из предсказаний оправдаются. Как говорится, пожием — увидим. В этой фразе кроется не только надежда на выяснение истины, но и поучительный для теоретиков вывод

о том, что, несмотря на успехи теории, она еще не достигла однозначности в своих предсказаниях, а должна время от времени обращаться за поддержкой к эксперименту.

ЧЕМУ НАС НАУЧИЛ КВАРКОНИЙ?

Исследуя кварконий, мы хотим узнать поведение цветовых сил. Чем тяжелее кварки, тем меньше расстояние между ними в кварконии. Поэтому боттомоний — более компактная система, нежели чармоний. Высшие возбуждения системы характеризуются большим расстоянием между кварками. По результатам проведенных экспериментов с кваркониями мы можем судить о действии цветовых сил в интервале расстояний примерно от 0,2 до 1 ферми.

Оказалось, что это — область промежуточных расстояний в том смысле, что ни асимптотическая свобода, приводящая на малых расстояниях к закону действия сил, похожему на кулоновский, но с убывающей «константой» связи, ни постоянная удерживающая на больших расстояниях сила не правят поодиночке, а оказываются практически равноправными в этой области. Обязательно нужна комбинация этих сил. Это следует, например, из почти одинакового расщепления уровней 2^3S_1 и 1^3S_1 в чармонии и в боттомонии.

Если представить потенциал взаимо-

действия в виде суммы $V = \frac{\alpha_s}{r} + kr$, то для описания кваркониев надо задать $k=16$ тонн и $\alpha_s \approx 0,5$ (много больше, чем постоянная тонкой структуры $\alpha=1/137$). Однако в конечном интервале расстояний хорошо «работают» и логарифмический потенциал, и степенной потенциал с малым показателем степени. Различие между ними можно будет выявить, изучая топоний, который позволит нам продвинуться в область расстояний, заметно меньших 0,1 ферми.

Важно, что и чармоний, и боттомоний описываются единым потенциалом, т. е. цветовые силы пока не обнаруживают зависимости от аромата кварков и их масс. Квантовые числа уровней также хорошо соответствуют предсказаниям потенциальных моделей.

Однако полностью нерелятивистская модель не дает расщепления $1S_0$ - и $3S_1$ -уровней, объяснения триплета $3P_J$ -уровней. Вводя спин-спиновое и спин-орбитальное взаимодействия, можно описать относительное положение уровней, и оказывается, что скорости кварков действительно малы и равны $v^2=0,23 c^2$ в чармонии и $v^2=0,08 c^2$ в боттомонии (c — скорость света). Надеж-

ность этих оценок подтверждается и при вычислении вероятностей радиационных переходов между уровнями.

Распады кваркониев позволили еще раз проверить дробность электрического заряда кварков и данные о величине их цветового заряда α_s .

Имеется много других вопросов, которые изучают с помощью кваркониев. Например, взаимодействие связанных кварков с флуктуациями вакуума КХД или специфическая особенность кварков, когда

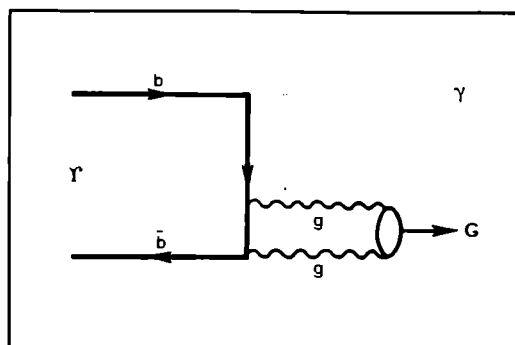


Диаграмма распада Υ -частицы на глюбол (G) и фотон (γ). Глюболы ищут в тех распадах кваркония, где велика вероятность того, что два глюона (g) образуют связанное состояние. Наибольший интерес вызывает распад, изображенный на рисунке: он характеризуется простой двухчастичной кинематикой.

удерживающая сила в 16 тонн возникает не как обычная внешняя сила, а за счет роста массы кварка с удалением его от антикварка, или влияние на свойства кваркониев квазисвязанных состояний, расположенных по шкале энергий над ними, и т. п.

Познав атомы из кварков и зная, что глюоны также подаластны цветовым силам, нетрудно предположить, что и два глюона могут образовать связанные состояния — глюболы (от англ. glueball — шар из клея). Их ищут, например, в тех распадах кваркониев, где могут обильно рождаться глюоны ($\Upsilon \rightarrow \gamma gg$). Кандидаты на роль глюболов систематически появляются, и некоторые из них отвергаются после более тщательного анализа¹¹. Сейчас можно ука-

зать примерно 6 кандидатов в глюболы. Однако ситуация пока остается неопределенной из-за того, что трудно определить критерий, однозначно указывающий на «глюбольшую» природу данного состояния.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

На шкале истории десять лет — срок небольшой. Поэтому можно сказать, изучение кваркониев только еще началось. И действительно, нам еще многое предстоит узнать о семействе боттомония, есть еще белое пятно и в семействе чармония. Повышение точности экспериментов на уже действующих ускорителях — один из путей получения новых сведений о кваркониях. Но, конечно, захватывающие перспективы откроются с планируемым на 1988 г. началом работы LEP — большого электрон-позитронного ускорителя в ЦЕРНе. На первом этапе здесь будет достигнута энергия 100 ГэВ и появится возможность детального изучения топония. На следующем этапе энергия будет повышена до 200 ГэВ, и, кто знает, может быть будут открыты еще более тяжелые кварки и атомы из них. Правда, практические трудности их обнаружения значительно возрастут, так как вероятность таких процессов падает обратно пропорционально квадрату массы системы.

Как всегда, новые данные о частицах вначале встречаются с некоторым недоверием. Обычно и статистика эксперимента и однозначность теоретической интерпретации подвергаются сомнению. Но тем красивее становится лебедь, выросший из гадкого утенка.

Лишь в редких случаях творческий процесс сразу приводит к окончательным результатам. Как сказано у Анны Ахматовой:

Когда б вы знали, из какого сора
Растут стихи, не ведая стыда...

Можно быть уверенным, что кварконии — атомы из кварков — станут одной из поэм физики.

¹¹ См., напр.: Герштейн С. С., Логунов А. А. Единство фундаментальных сил природы и поиски глюболов — частиц из ядерного «клея». — Природа, 1985, № 1, с. 6.

Метеоритные кратеры

Б. А. Иванов, А. Т. Базилевский



Борис Александрович Иванов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Специалист в области процессов образования кратеров при высокоскоростных ударах и взрывах. Один из авторов монографии: Ударные кратеры на Луне и планетах. М., 1983.



Александр Тихонович Базилевский, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией сравнительной планетологии и метеоритики Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР. Специалист по планетологии и космохимии. Один из авторов монографий: Очерки сравнительной планетологии. М., 1981; Ударные кратеры на Луне и планетах. М., 1983. В «Природе» опубликовал статью: Шаги сравнительной планетологии (1977, № 3).

На поверхности планет и спутников Солнечной системы широко развиты кратеры — чашеобразные углубления с окружающим их кольцевым валом. Уже около трех столетий астрономы наблюдают кратеры на Луне, и почти все это время продолжают споры об их происхождении. Одни считали кратеры метеоритными, т. е. возникшими при ударах метеоритов о поверхность Луны, другие — вулканическими, появившимися в результате вулканических взрывов или провалов поверхности над опустошенными магматическими резервуарами. Однако эти споры велись, главным образом, внутри достаточно малочисленной группы специалистов, изучавших Луну. Для большинства же людей, даже

для большинства ученых-естествоиспытателей, кратеры Луны были всего лишь одним из курьезов лунной поверхности.

В наши дни полеты космических аппаратов к Меркурию, Венере, Марсу, его спутникам и спутникам Юпитера и Сатурна открыли на этих телах обилие кратеров, очень похожих на лунные. Примерно в это же время и на Земле были обнаружены кратеры, в большинстве своем сильно разрушенные и, вероятно, являющиеся «родственниками» кратеров Луны. Стало очевидно, что кратеры — это образования, которые типичны для планет и спутников, имеющих твердую поверхность, и поэтому заслуживают самого пристального изучения. С возрастанием интереса к крате-

рам споры об их происхождении уже возникли. Зазвучал вопрос, существуют ли вообще метеоритные кратеры?

КРАТЕРЫ ЛУНЫ И ДРУГИХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

История изучения кратеров началась с кратеров Луны. С них мы и начнем свой рассказ¹. Вся совокупность лунных кратеров охватывает огромный диапазон размеров: от субмикронных микрократеров на частицах лунного грунта до гигантских многокольцевых кратерных бассейнов диаметром около 1000 км. Кроме кратеров, мы не знаем никаких других морфологически единых образований, охватывающих такой широкий размерный диапазон. Лунные кратеры принято делить на три различные категории: микрократеры, малые кратеры и крупные кратеры. Границы между ними достаточно условны и определяются, прежде всего, особенностями наблюдения и удобством описания.

Микрократеры представляют собой чашеобразные углубления обычно с окружающим их валом. Нередко внутренняя поверхность микрократера выстлана пленочкой стекла, образовавшегося при плавлении того минерала или горной породы, на которой данный кратер сформирован. Микрократеры находят на самых разных образцах лунных пород, общим для которых является то, что в течение некоторого времени они находились на поверхности Луны. По особенностям их строения лунные микрократеры аналогичны микрократерам, образованным в лабораториях при обстреле разного рода мишеней высокоскоростными микроударниками. Ни у кого не возникает сомнений, что лунные микрократеры образуются при ударах по лунной поверхности микрометеоритов, т. е. являются ударными метеоритными кратерами.

Малые кратеры Луны диаметром от нескольких сантиметров до 1—2 км также представляют собой чашеобразные углубления, которые окружены кольцевым валом, постепенно переходящим к периферии в зону выбросов. По своему строению они аналогичны хорошо изученным на Земле воронкам от взрывов химических или ядерных зарядов, и образование малых кратеров за счет взрывной экскавации и раз-

броса вещества неоспоримо. Они наблюдаются на всех типах поверхности Луны: на базальтовых вулканических равнинах лунных «морей», на древнем рельефе лунных материков, на разных элементах строения молодых и древних крупных кратеров. И это безразличие к геологической ситуации в сочетании с «взрывным» характером их морфологии заставляет считать малые кратеры, как и микрократеры, результатом метеоритной бомбардировки поверхности Луны. В пользу этого вывода говорит также то, что лунные породы крайне бедны летучими веществами, без которых широкое развитие вулканических взрывов невозможно. Кроме того, в лунном реголите, представляющем собой наложенные друг на друга выбросы из малых кратеров, по геохимическим признакам опознается примесь метеоритного вещества, т. е. как раз тех «ударников», которые при своем столкновении с Луной образовали и малые кратеры, и сингенетичный им лунный грунт — реголит.

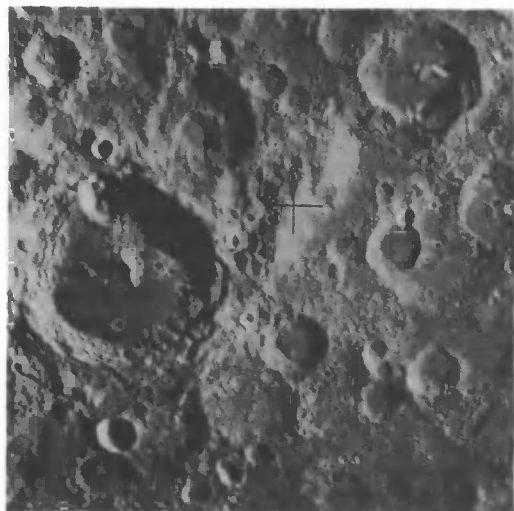
В строении свежих малых кратеров Луны наблюдается определенное разнообразие. Среди кратеров диаметром менее 50—100 м преобладают простые чашеобразные формы. Среди более крупных встречаются еще три типичные морфологические разновидности: плоскодонные, с центральной горкой и концентрические. Причина возникновения разных типов кратеров заключается в двуслойности приповерхностного лунного геологического разреза: рыхлый лунный реголит мощностью несколько метров лежит на скальном базальтовом или брекчиевом фундаменте².

Крупные кратеры Луны диаметром более 1—2 км тоже обнаруживают закономерное изменение их строения в зависимости от размера, что позволяет выделить разные морфологические типы крупных кратеров³. Эти кратеры, так же как и малые кратеры Луны, имеют окружающий их кольцевой вал и широкую зону выбросов. Иногда у очень свежих кратеров периферийные части выбросов образуют характерную картину звездообразно расходящихся лучей. Лучи от крупных кратеров прослеживаются на сотни и даже тысячи

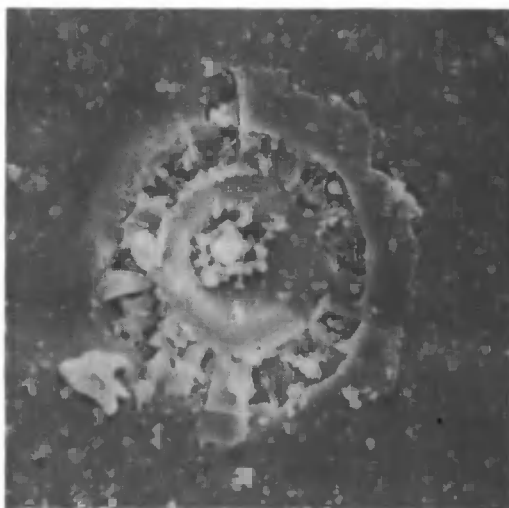
² Квайд У. Л., Обербек В. Л. Определение мощности приповерхностного слоя Луны. — В сб.: Механика образования воронок при ударе и взрыве. М., 1977, с. 86.

³ Флоренский К. П., Базилевский А. Т., Гребенник А. А. Морфология ударных кратеров на Луне и других планетах. — В сб.: Метеоритные структуры на поверхности планет. М., 1979, с. 192.

¹ Базилевский А. Т., Иванов Б. А., Флоренский К. П. и др. Ударные кратеры на Луне и планетах. М., 1983.



Кратеры на обратной стороне Луны. Снимок космического аппарата «Зонд-8». Самый крупный здесь кратер Эйткин имеет диаметр около 170 км. Картина весьма типична для Луны, характер ландшафта которой определяют наложенные друг на друга кратеры.



Микрократер диаметром 30 мкм на поверхности частицы лунного реголита. Фото О. Д. Род.

километров, что предполагает начальную скорость разлета материала порядка 1 км/с.

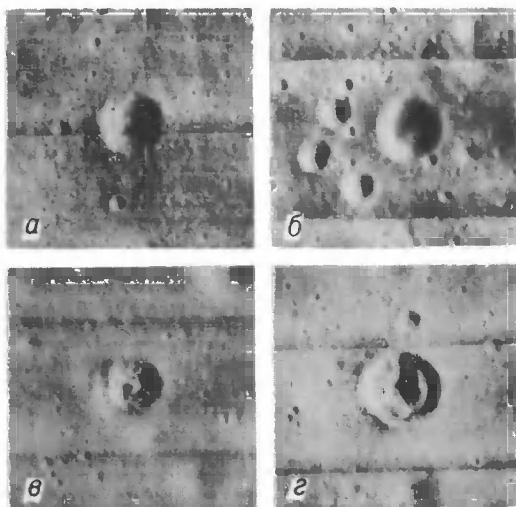
В целом морфология крупных лунных кратеров однозначно говорит об их образовании в результате взрывной экскавации, а уже упоминавшаяся обедненность пород Луны летучими компонентами заставляет считать эти кратеры не результатом вулканических взрывов, а следами падения гигантских высокоскоростных метеоритов. Этот вывод согласуется с тем, что в материковых брекчиях, образованных выбросами из крупных кратеров, так же как и в реголите, различима примесь нескольких процентов метеоритного вещества.

Сейчас вывод об ударном происхождении крупных кратеров Луны почти никем из геологов и планетологов не оспаривается. Но сравнительно недавно, каких-нибудь 15—20 лет назад, когда морфология лунных кратеров была уже довольно хорошо изучена, но образцы пород еще не были доставлены на Землю, многие геологи, изучавшие эти образования по фотоснимкам, отдавали предпочтение не ударно-метеоритному, а вулканическому способу их формирования. Потребовалось «привезти» с Луны образцы горных пород и убедиться, что вулканические явления на Луне не имели взрывного характера, а представляли собой обширные и спокойные излияния, потребовалось получить детальные изобра-

жения других планет и спутников и обнаружить на их поверхности кратеры, очень похожие на лунные, прежде чем ударное происхождение кратеров Луны стало не подлежащим сомнению научным фактом.

Правда, с сомнениями расстались, если так можно выразиться, узкие профессионалы. Среди геологов, далеких от планетологии, недоверие к ударно-метеоритному происхождению крупных кратеров Луны по-прежнему существует, что, в частности, и побудило нас написать эту статью.

Что же мы увидели на других планетных телах? Кратеры Меркурия, Венеры, Марса и его спутников, ледяных спутников Юпитера и Сатурна очень похожи на кратеры Луны, хотя и имеют некоторые отличия, вполне объяснимые спецификой этих тел. На самых малых телах — Фобосе и Деймосе (спутники Марса) или Эпиметее (маленький ледяной спутник Сатурна) — развиты простые чашеобразные кратеры, а для достаточно больших тел, независимо от характера их геологической истории и состава поверхности, характерна смена морфологических типов кратеров от простых чашеобразных форм к кратерам с центральной горкой и далее к кольцевым бассейнам. Эта общность морфологии кратеров на телах с различным химическим и минеральным составом указывает на существование некоторой общей причины их



Малые кратеры на поверхности лунных базальтовых равнин. Фрагмент фото космических аппаратов «Лунар Орбитер-1» и «Лунар Орбитер-2»: а) чашеобразный, б) плоскодонный, в) с центральной горкой, г) концентрический. Ширина полосы на изображении — 180 м.

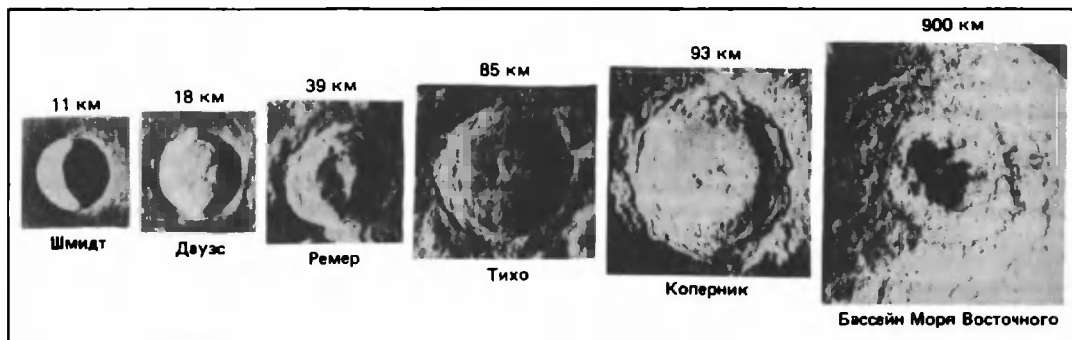
Разные морфологические типы крупных кратеров Луны. Под кратером дано его название, над кратером — диаметр. Кратеры диаметром менее 15 км — чашеобразные (Шмидт). С увеличением диаметра днище кратера становится плоским или даже слегка выпуклым (Дауэс). При диаметрах 25—40 км почти все днище кратера занимает центральная горка (Ремер). Для интервала диаметров 30—200 км характерны кратеры с почти горизонтальным днищем, в центре которого возвышается одна (Тихо) или несколько (Коперник) центральных горок. На детальных снимках таких кратеров видно, что поверхность днища имеет морщинистый характер, напоминающий поверхность застывших лав. У кратеров диаметром более 150 км на днище кратера вместо центральной горки появляется одна или несколько кольцевых возвышенностей — внутренних валов. Такие кратеры принято называть бассейнами (Бассейн Моря Восточного).

образования, лежащей вне этих тел или находящейся внутри каждого из них. Сделать выбор между внешней и внутренней причинами образования этих кратеров можно и по приведенным выше данным, так как вряд ли можно серьезно говорить о взрывном эндогенном вулканизме на спутниках Марса поперечником 12 и 22 км, но более обоснованные выводы помогают нам сделать земные кратеры.

КРАТЕРЫ ЗЕМЛИ

В этом разделе мы не будем говорить о хорошо известных всем вулканических кратерах и кальдерах, происхождение которых очевидно. Здесь речь пойдет об относительно небольшом количестве (около 140 экземпляров) структур, ударно-метеоритное происхождение которых бесспорно доказано либо находками в них метеоритного вещества (кратерные поля Сихоте-Алиня, кратеры Каали и Хэнбери, Аризонский метеоритный кратер), либо обнаружением ряда признаков высокоскоростного метеоритного удара. Многие из этих структур ранее относили к категории криптовулканических (от греч. *κρυπτός* — тайный, скрытый) из-за неясности связи этих структур с вулканизмом, а теперь их рассматривают в качестве земных аналогов ударных кратеров Луны и других небесных тел.

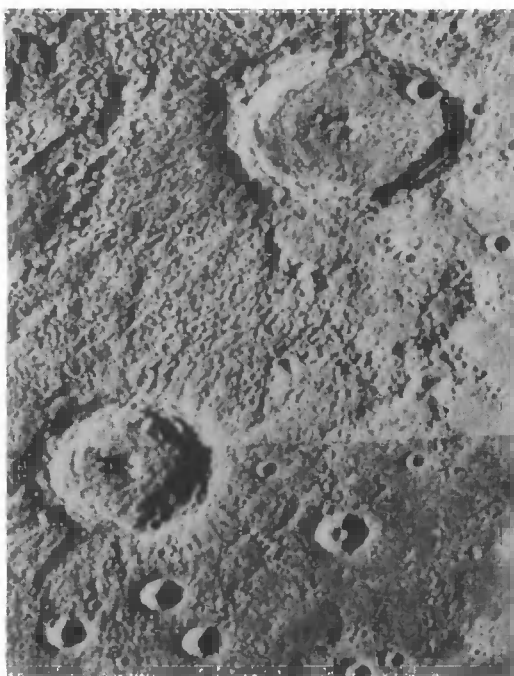
Земные метеоритные кратеры, или, как их иногда называют, астроблемы, представлены структурами диаметром от нескольких десятков метров до 100 км. Возраст их колеблется от 38 лет (Сихоте-Алинские кратеры) до 2 млрд лет (Вредефорт в Южной Африке). Они встречаются в самых разнообразных геологических ситуациях, накладываются на осадочные, магматические и метаморфические породы и подчиняются лишь одной-единственной закономерности: они относительно редки в геологически активных областях, где быст-



ро разрушаются, и чаще встречаются в стабильных древних областях, например на Украинском, Балтийском и Канадском щитах, где условия для их сохранности гораздо лучше.

В отличие от своих инопланетных аналогов, земные кратеры доступны для изучения прямыми методами. В некоторых вскрытых эрозией кратерах можно исследовать характер их строения на глубине и, что очень важно, изучать горные породы в разных зонах кратера, сравнивая их с теми же породами, не затронутыми процессами кратерообразования. В ряде случаев строение кратеров изучалось с помощью бурения, так как к некоторым кратерам приурочены месторождения полезных ископаемых. Например, в котловине Болтышского кратера на Украине образовалась гигантская залежь горючих сланцев, а некоторые погребенные под слоем осадков кратеры Североамериканского континента стали коллекторами, в которых накапливались промышленные запасы нефти и газа.

Кратеры Земли, так же как и кратеры других планет и спутников, обнаруживают зависимость характера их строения от размеров. Кратеры диаметром менее 2 км в осадочных породах и менее 4 км в скальных породах имеют простую чашеобразную форму, аналогичную форме чашеобразных кратеров Луны и других планетных тел. Типичные и хорошо изученные примеры такого рода кратеров — это Аризонский в США диаметром 1,2 км и Лонар в Индии диаметром 1,8 км. В более крупных кратерах над дном возвышается центральная горка, как, например, в кратере Штейнхейм, ФРГ ($D=3,5$ км) и в уже упоминавшемся Болтышском кратере на Украине ($D=22$ км). Над истинным дном кратера центральные горки возвышаются на 0,1—2 км, однако из-за того, что кратер заполнен раздробленной перемещенной породой и другими продуктами ударной переработки, центральная горка либо немного возвышается над видимым дном, либо совсем не видна. Поэтому центральные горки в кратерах других планетных тел также следует считать вершинами более крупных образований, возвышающимися над видимым дном кратера. При диаметре кратера 23—60 км (в зависимости от геологического строения и состава пород мишени) вместо центральной горки, а иногда и вместе с ней на дне кратера образуются кольцевые поднятия. Примеры таких кратеров — Рис в ФРГ ($D=23$ км), Маникуаган в Канаде



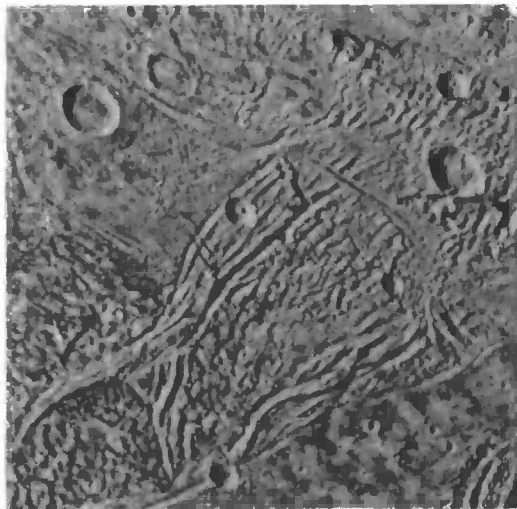
Материковая область в Северном полушарии Меркурия. Монтаж снимков космического аппарата «Маринер-10». Два крупнейших кратера в этом районе — Верди ($D=150$ км) и Бах ($D=100$ км) — морфологически сходны с лунными кратерами Коперник и Тихо. Среди кратеров меньшего размера есть аналоги лунных кратеров Реммер, Даусс и Шмидт.



Кратеры на равнине Хриса на Марсе вблизи места посадки космического аппарата «Викинг-1» (монтаж снимков орбитального блока аппарата). Наиболее крупные кратеры здесь аналогичны лунным кратерам типа Даусс, меньшие — кратерам типа Шмидт.



Ударные кратеры Венеры. Монтаж радиолокационных изображений космических аппаратов «Венера-13» и «Венера-16». Внизу слева — древний двухкольцевой ударный бассейн диаметром около 100 км, сверху справа — кратер диаметром около 60 км с центральной горкой и асимметричной зоной выбросов.



Кратеры на ледяной поверхности спутника Юпитера — Ганимеда. Снимок космического аппарата «Вояджер-2». Маленькие кратеры чашеобразные. Для крупных характерны центральные горки.

($D=70$ км)⁴. В породах земных метеоритных кратеров обнаружено воздействие мощного сжатия, имевшего импульсный, ударный характер⁵. Огромные объемы пород мишени передроблены и превращены в смесь обломков — брекчии. Кварц в них частично переходит в минералы высокого давления — коэсит и стишовит, а графит переходит в гексагональную и кубическую модификации алмаза. При этом структура минералов искажается, иногда вплоть до ее полного разупорядочения и перехода вещества в стеклообразное состояние. Так, без плавления, а только за счет высокоскоростных механических деформаций, возникают диаплектовые стекла. В том же случае, когда действуют очень большие ударные нагрузки, вещество плавится, и в результате в земных метеоритных кратерах мы видим залежи застывшего ударного расплава, перемешанные с обломками нерасплавленных горных пород и часто содержащие примесь метеоритного вещества, обычно опознаваемого по повышенному содержанию таких элементов, как иридий и, иногда, никель.

Все эти преобразования хорошо воспроизводятся в лабораторных экспериментах по ударному сжатию горных пород, что позволяет использовать экспериментальные данные для оценки давлений, действовавших на вещество мишени при образовании метеоритных кратеров. Установлено, например, что для перехода кварца в стишовит необходима ударная нагрузка не менее 140 кбар, а для полного перехода графита в алмаз необходимы нагрузки 400—600 кбар. При воздействии ударных волн с давлением на фронте более 1 Мбар, после снятия давления горные породы начинают испаряться.

Давление в десятки и сотни килобар, которое испытывали огромные объемы горных пород в описываемых кратерах, недостижимо в обычных геологических (магматических и тектонических) процессах, протекающих в земной коре. Поэтому присутствие в породах метеоритных кратеров таких минералов высокого давления, как коэсит, стишовит, гексагональный и кубический алмаз, в сочетании с минералами

⁴ Масайтис В. Л., Данилин А. Н., Машак М. Г. и др. Геология астероидов. Л., 1980; Вальтер А. А., Рябенко В. А. Взрывные кратеры Украинского щита. Киев, 1977.

⁵ Импаكتиты. Под ред. А. А. Маракушева. М., 1981.

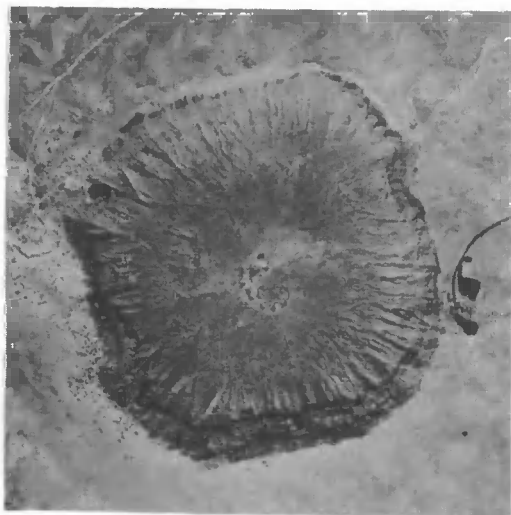
обычных для земной коры ассоциаций (кварца и полевого шпата) надежно указывает на ударную природу этих образований.

Следует сказать, что почти все указанные пути преобразования вещества характерны и для хорошо изученных ядерных взрывов, природа которых ни у кого не вызывает сомнений.

Не отрицая взрывного происхождения ряда метеоритных кратеров, некоторые исследователи выдвинули гипотезу «удара снизу», объясняя генезис кратерных структур взрывом гипотетических взрывчатых флюидов, накопившихся в верхних горизонтах земной коры⁶. Этим представлениям противоречат как наблюдаемое в хорошо изученных кратерах уменьшение степени ударного воздействия, направленного сверху вниз, так и то обстоятельство, что объем даже весьма эффективного химического взрывчатого вещества типа тротила, необходимый для образования больших ударных кратеров, подобных Карскому ($D=50$ км), сравним с объемом самого кратера. Это создает неразрешимую, на наш взгляд, задачу: где разместить этот гипотетический взрывчатый флюид и как уберечь его от преждевременной утечки на поверхность.

Гипотеза «удара снизу» становится еще более уязвимой, если обратиться к кратерам на других планетах и спутниках, где состав пород мишени меняется от базальтов и других основных пород или вещества хондритового типа до льда H_2O , температура меняется от $+500$ до -200 °С, а диаметры тел, на которых обнаружены кратеры, меняются от 10 до 1200 км без нарушения описанной выше морфологической последовательности и характера распределения структур в зависимости от размера. Характер и интенсивность геологических процессов на этих планетных телах очень сильно зависят от размеров тела и его валового химического состава⁷. Характер же кратеров удивительно однообразен.

В этих условиях наиболее естественной причиной образования кратеров следует признать метеоритные (и, возможно,



Аризонский метеоритный кратер Земли диаметром 1,2 км. В кратере и вокруг него найдено большое количество обломков железного метеорита, названного «Каньон Дьябло». Кратер образован примерно 50 тыс. лет назад.

кометные) удары, что подтверждается тем, что в породах этих кратеров действительно часто удается опознать примесь метеоритного вещества. Кроме того, астрономические наблюдения за астероидами и кометами показывают, что орбиты некоторых из них пересекаются с орбитами Земли и других планетных тел и, следовательно, в геологическом масштабе времени такие столкновения неизбежны.

Таким образом, мы вынуждены сделать вывод, что метеоритные кратеры действительно существуют и, более того, широко распространены на твердых телах Солнечной системы.

ФИЗИКА И МЕХАНИКА МЕТЕОРИТНОГО УДАРА

Чтобы понять, что можно найти на месте падения метеорита, попытаемся представить высокоскоростной метеоритный удар как последовательность взаимосвязанных событий.

Приближаясь к планетному телу, метеорит достаточно больших размеров и достаточно низкой прочности может быть разрушен приливными силами на несколько обломков, движущихся по близким траекториям. Если размеры обломков достаточны для прорыва через атмосферу, их падение может создать соседствующие одно-

⁶ Ваганов В. И., Иванкин П. Ф., Кропоткин П. Н. и др. Взрывные кольцевые структуры щитов и платформ. М., 1985.

⁷ Барсуков В. Л., Базилевский А. Т. Сравнительная планетология. Некоторые итоги и перспективы. — В сб.: Доклады 27-го Международного геологического конгресса. Т. 19. М., 1984, с. 3.

возрастные структуры. Наиболее известны многочисленные случаи парных падений, хотя имеются свидетельства одновременного падения многих тел.

Скорости сближения современных метеоритных тел с Землей лежат в диапазоне от 11,2 до 70 км/с. Вхождение в атмосферу компактных тел с такими скоростями создает колоссальные аэродинамические и тепловые нагрузки на тело. Происходит абляция материала с поверхности тела, а возможно, и его разрушение в целом.

По внешним проявлениям прохождения через атмосферу высокоскоростного тела подобно детонации линейного заряда взрывчатого вещества (например, детонационного шнура), расположенного вдоль траектории падения. Баллистическая волна, падая на поверхность грунта и отражаясь от нее, также может создавать значительные ударные и ветровые нагрузки. Именно такая баллистическая волна создала характерный вывал леса в эпицентре Тунгусского события 1908 г.⁸ При высоких скоростях тела существенную роль в картине обтекания тела играет световое и тепловое излучение воздушной ударной волны⁹. Интенсивность баллистической ударной волны зависит от параметров атмосферы. Поэтому, например, в атмосфере Венеры ударные волны от метеоритов имеют значительно более высокие параметры, чем в атмосфере Земли.

Крупнейшие из метеоритных структур, наблюдаемых на планетах и спутниках, были образованы падением тел диаметром более 10 км. Падение таких тел на планеты с атмосферой должно было сопровождаться ее «разбрызгиванием». Причем, образованию «дыры» в атмосфере и ее последующему затеканию должны были сопутствовать глобальные колебания атмосферы, подобные, например, тем, что были зафиксированы при взрыве вулкана Кракау и падении Тунгусского метеорита.

Но вот метеорит, преодолевший атмосферу, врывается в твердую оболочку планетного тела. Начинается его резкое торможение, сопровождающееся почти мгновенным превращением кинетической энергии метеорита в кинетическую и тепло-

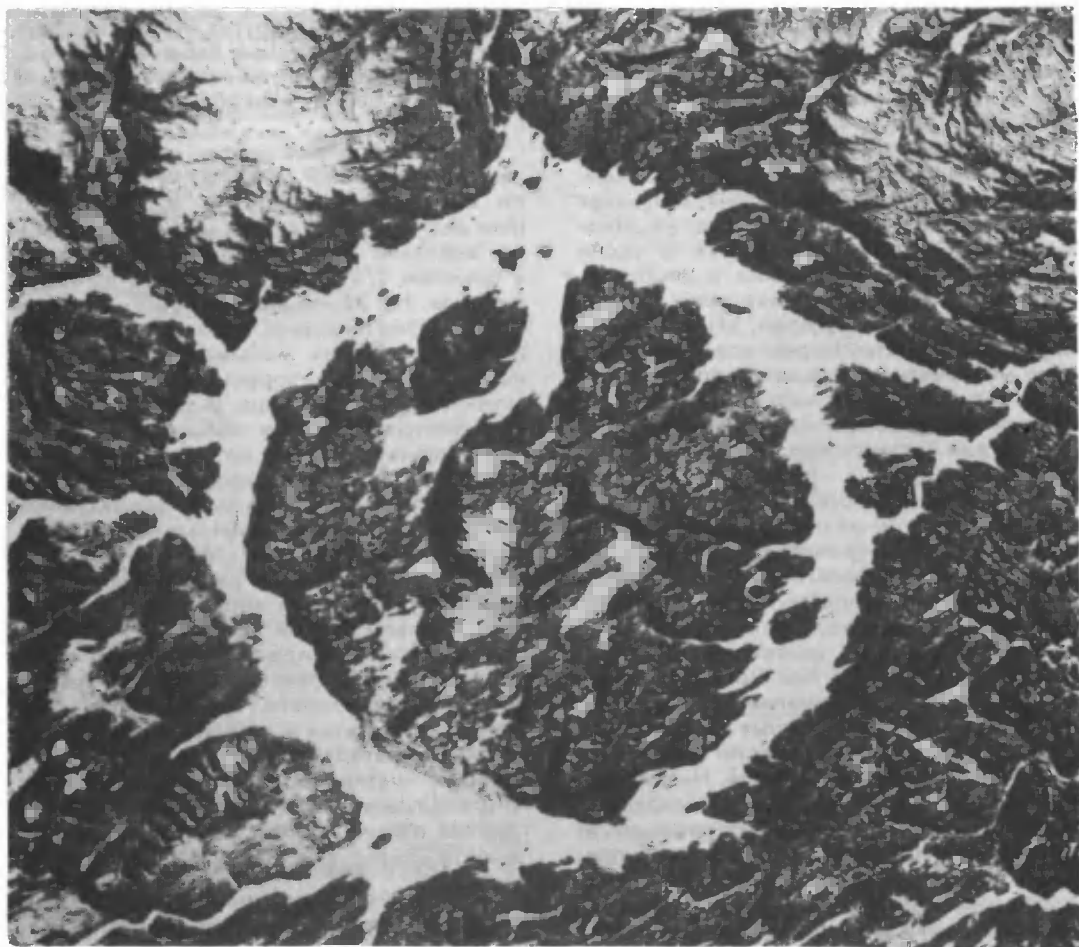
вую энергию вещества коры планеты. В месте удара зарождается мощная ударная волна, распространяющаяся в глубь планеты. За фронтом ударной волны вещество находится в состоянии динамического сжатия — сжатия движением. По мере прихода с поверхности волн разгрузки, давление в каждой точке постепенно понижается от пикового значения на фронте волны до соответствующей остаточной величины. На самом же фронте ударной волны происходит стремительное сжатие вещества горных пород, сопровождающееся необратимым повышением энтропии. В итоге, разгрузившееся вещество остается нагретым до температуры, превышающей начальную.

В зависимости от давления на ударном фронте величина этой температуры меняется, причем может измениться и агрегатное состояние вещества. Уже при скорости удара 4 км/с в плотных изверженных породах достигается давление в 0,5 Мбар и появляются первые порции ударного расплава. При скорости удара более 7—8 км/с максимальные давления достигают 1 Мбар. При разгрузке от таких давлений вещество оказывается частично испаренным. Из этих оценок видно, что на Земле при средних скоростях падения (15—20 км/с) метеоритный удар обязательно должен сопровождаться процессами плавления и испарения горных пород. Коррективы в это утверждение вносит только состав пород в месте удара. Так, известняки при ударном сжатии могут претерпевать термическое разложение, давая продукты, отличные от ударного расплава в изверженных породах.

Распространяясь в стороны и в глубь планеты, ударная волна захватывает все большие массы вещества, а пиковые давления на ее фронте уменьшаются. Изменяются и последствия ударного сжатия для вещества. При давлениях на фронте волны 150—300 кбар и выше почти все основные порообразующие минералы испытывают полиморфные фазовые переходы с увеличением плотности. При разгрузке же основное количество вещества возвращается из фазы высокого давления в исходное состояние фазы низкого давления. Но небольшая часть вещества может оказаться в условиях закалки как на микроуровне (в пределах трещин и планарных элементов какого-либо минерального зерна), так и на макроуровне (например, при внедрении ударного расплава в трещины в днище растущего кратера). В этом случае в образцах пород

⁸ Цикулин М. А. Ударные волны при движении в атмосфере крупных метеоритных тел. М., 1969.

⁹ Немчинов И. В., Цикулин М. А. — Геомагнетизм и аэрономия. 1963, т. 3, № 4, с. 636; Немчинов И. В., Орлова Т. И., Светцов В. В. — Доклады АН СССР, 1976, т. 231, № 5, с. 1084.



Древний ударный кратер Земли — Маникюган диаметром около 70 км. Фото космического аппарата «Ландсат». Кратер имеет двухкольцевое строение. Снимок сделан зимой, когда снег, скопившийся в кольцевом желобе между остатками внешнего и внутреннего кольцевого вала, подчеркивает кольцевую форму структуры.

из кратера, лежащих на дневной поверхности, могут быть обнаружены минералы, термодинамически устойчиво существующие на глубинах в десятки километров (стишовит, козсит, алмаз и др.).

При давлениях на фронте волны ниже 100 кбар в горных породах происходят преимущественно механические превращения: разрушение, дробление, образование трещин. Но объем вещества, подвергающегося таким превращениям, в 10—100 раз превышает объем зон плавления и испарения. Наиболее заметное следствие механического разрушения горных пород

под кратером — отрицательная аномалия силы тяжести, существование которой связано с разуплотнением разрушенных пород. В некоторых случаях на образцах из зоны разрушения наблюдается характерная бороздчатая текстура поверхности, именуемая ударными конусами или конусами сотрясения.

Конечно, вещество после прохождения ударной волны не остается на исходном месте, а в силу динамической природы ударного сжатия, растекается и разлетается со значительными скоростями, закономерно уменьшающимися по мере удаления от точки удара.

Исходя из такой картины метеоритного удара, нужно признать, что в месте высокоскоростного удара мы должны найти (и находим!) механически раздробленные перемещенные и неперемещенные горные породы (называемые, соответственно, аллогенной и аутигенной брекчией)

и застывший расплав примерно того же химического состава, что и вмещающие породы, перемешанный в той или иной степени с нерасплавленными обломками (так называемые тагматы и зювиты). Кроме того, иногда удается идентифицировать следы конденсата, осевшего из облака ударного пара на более холодных обломках пород. Обломки горных пород из зоны полиморфных переходов несут в своих минералах следы обратимых и необратимых изменений, сопровождавших фронт ударной волны. Характерно, что в хорошо сохранившихся структурах все названные выше материальные свидетельства превращения вещества при метеоритном ударе обнаруживаются в пропорциях, ожидаемых именно для метеоритного высокоскоростного удара.

Итак, практически все, что с точки зрения физики и механики должно было возникнуть на поверхности планеты в результате высокоскоростного удара, найдено. Нерешенные вопросы, связанные с преобразованием вещества, носят «локальный» характер и успешно решаются по мере развития расчетных и экспериментальных методов. И все же многое в процессах плавления и испарения горных пород — образований, полиминеральных по своему составу — еще предстоит понять. Например, неясны детали фазовых полиморфных переходов или же причины сохранения и несохранения фаз высокого давления при разгрузке. Список таких проблем велик, но все они могут быть решены на уже созданной основе из накопленных фактов, проверенных моделей и выясненных ограничений.

Мы сознательно не касались до сих пор вопросов, связанных с наиболее легко наблюдаемой характеристикой кратеров — их формой. А именно здесь заключена одна очень интересная и пока непонятная проблема реакции коры любого планетного тела на образование метеоритного кратера.

ПОЧЕМУ БОЛЬШИЕ КРАТЕРЫ ТАКИЕ ПЛОСКИЕ?

Как мы уже рассказывали, большие кратеры различных планетных тел образуют единый морфологический ряд, в котором чашеобразные кратеры сменяются кратерами с центральной горкой, а те — многокольцевыми бассейнами. При этом меняется не только форма кратера, но и такие его параметры, как отношение глубины или высоты к диаметру. По понят-

ным причинам, на других планетах чаще всего измеряют видимые параметры кратера. На Земле мы имеем возможность определять наряду с видимой еще и истинную глубину.

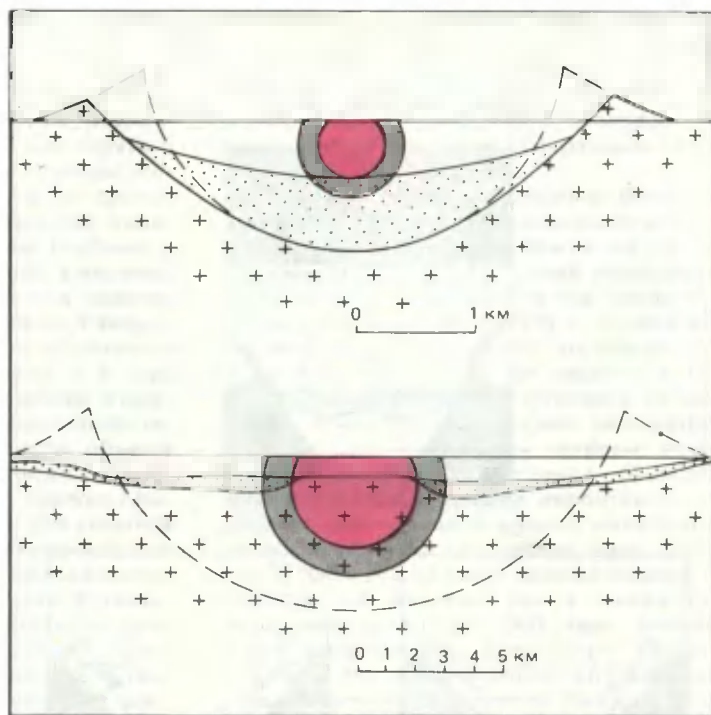
Чашеобразные кратеры всех планетных тел подобны друг другу не только по внешнему виду, но и по соотношению диаметра и видимой глубины: глубина от вершины вала до дна составляет в среднем $1/5$ диаметра кратера по гребню вала. На Земле большинство кратеров из-за эрозии лишились насыпного вала, чем и объясняется их меньшая глубина. Однако у наиболее хорошо сохранившихся экземпляров отношение видимой глубины к диаметру близко к «общепланетному» соотношению (например, у Аризонского кратера — $1:5,3$). Примерно такое же соотношение видимой глубины и диаметра характерно для экспериментально полученных взрывных кратеров масштаба 10 см — 10 м, что показывает на большое сходство между ударным образованием кратера и взрывом вблизи поверхности.

При смене морфологического типа, происходящей в том случае, когда кратер достигает некоторого критического диаметра, изменяется и зависимость видимой глубины кратера от его диаметра. Для сложных кратеров с центральной горкой и многокольцевых бассейнов максимальная глубина растет пропорционально примерно $\sqrt[3]{D}$. В результате видимая глубина земных кратеров не превышает 0,5 км, а глубина кратеров на других планетных телах составляет всего 3—4 км при диаметрах в сотни километров. Анализ кратеров Земли показывает, что и истинная глубина кратеров подчиняется подобной зависимости. Таким же образом при смене морфологического типа изменяется соотношение между максимальной высотой вала кратера и диаметром кратера: для чашеобразных кратеров высота вала растет пропорционально глубине, а для более сложных кратеров — намного медленнее.

Совокупность данных, полученных для разных планет и спутников, позволяет сделать первый вывод относительно причин, влияющих на морфологию больших кратеров: критический диаметр, выше которого могут существовать сложные, относительно неглубокие кратеры, обратно пропорционален силе тяжести на поверхности планетного тела. На фоне этой главной зависимости в величине критических диаметров кратеров наблюдаются вариации, связанные с особенностями геологического разреза данной местности. Например, на

Профили «истинных» и видимых кратеров различного размера (сплошная линия) в сравнении с гипотетическими переходными кратерами (пунктир) и контурами исходного положения зон плавления и испарения и зон полиморфных фазовых переходов. С ростом масштаба кратера влияющие силы тяжести уменьшают относительные размеры кратера и увеличивает относительные размеры зон плавления, испарения и фазовых превращений. Сверху и низ приведены кратеры: Брент (Канада), Болтышский (СССР).

- + + Горная порода
- Раздробленная горная порода в смеси с ударным расплавом
- Зона плавления и испарения
- Зона полиморфных фазовых переходов



Марсе в различных районах можно найти кратеры диаметром от 5 до 10 км как чашеобразной формы, так и плоскодонные с центральной горкой.

Небольшая относительная глубина сложных кратеров, как показывает анализ имеющихся данных,— это, скорее всего, следствие необратимого преобразования первоначально глубоких переходных кратеров, возникающих при метеоритном ударе. Подобное преобразование не только катастрофически уменьшает глубину кратеров, но и ведет к поднятию пластов горных пород под дном кратера над уровнем их исходного залегания. Механика этого процесса до сих пор количественно не разработана, и пока можно только привести некоторые данные, описывающие масштаб процесса выравнивания кратера.

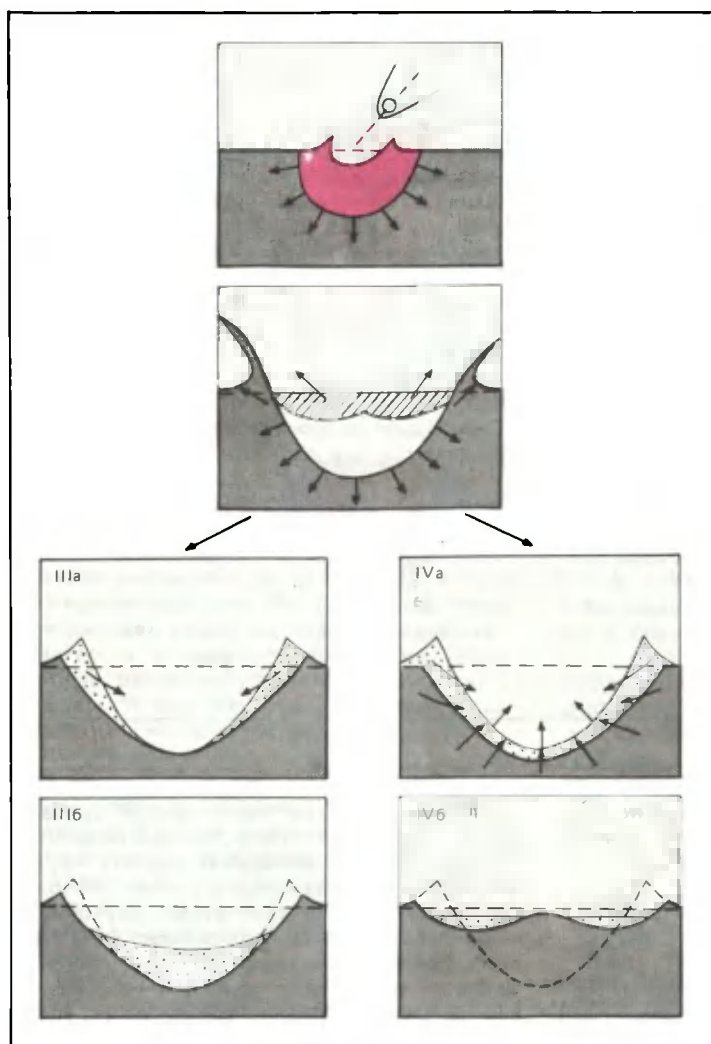
Многочисленные расчеты высокоскоростного удара показывают, что в случае, если плотность ударника сравнима с плотностью пород мишени, при торможении ударника неизбежно образуется довольно глубокая чашеобразная выемка. Масштабный пересчет этих результатов на случай образования кратеров диаметром 50—100 км приводит к оценке глубины переходного кратера в 10—20 км. К таким же

значениям глубины переходного кратера приводят и попытки сопоставить изменения, наблюдаемые в минералах горных пород из скважин, пробуренных в центре нескольких кратеров, с результатами двумерных численных расчетов высокоскоростных ударов. Еще одно следствие этих же расчетов — ожидаемая полусферическая исходная форма объема горных пород, которые подвергаются ударному плавлению.

Прямые геологические данные о кратерах в стратифицированных мишенях, полученные путем бурения и геофизических исследований, неопровержимо свидетельствуют о подъеме слоев под центральной горкой примерно на $1/10$ радиуса кратера¹⁰.

Более того, тщательные замеры профилей лунных кратеров показывают, что в кратерах диаметром более 50 км вершина центральной горки находится на уровне исходной поверхности, а иногда даже на 0,5—1 км превышает ее. Учитывая, что раз-

¹⁰ Иванов Б. А., Базилевский А. Т., Сазонова Л. В. Об образовании центрального поднятия в метеоритных кратерах. — Метеоритика, вып. 40, М., 1982, с. 67.



Примерный сценарий образования метеоритных кратеров.

I. Приблизившись к поверхности планеты, метеорит соударяется с ней, и от точки удара распространяется ударная волна, которая приводит вещество в движение — начинает расти полость будущего кратера.

II. Частично за счет выброса, а частично за счет преобразования и выдавливания разрушающихся пород полость достигает максимальной глубины — образуется временный переходный кратер.

III. При малом масштабе удара переходный кратер может оказаться устойчивым и стать из переходного просто кратером (IIIa); в других случаях разрушенный материал сползает с бортов кратера, и им заполняется чаша «истинного» кратера (IIIb).

IV. В ударном событии большого масштаба неясные пока процессы потери устойчивости приводят к быстрому воздыманию дна кратера, сопровождающемуся обрушением и опусканием периферийных частей кратера — так возникает кратер с центральной горкой (IVa); при этом кольцевое углубление кратера заполняется смесью обломков и ударного расплава (IVb).

меры ударников, образующих такие кратеры, составляют несколько километров, мы неизбежно приходим к выводу о существовании фазы обратного движения дна кратера в сторону поверхности. Остается решить вопрос об амплитуде этого движения и о его механизме.

Геологические данные позволяют также сделать некоторые оценки скорости этого подъема. Твердо установлено, что ударный расплав в земных метеоритных кратерах всегда располагается в виде субгоризонтальных залежей вокруг центрального поднятия. Это свидетельствует о том, что он потерял свою текучесть уже после формирования наблюдаемого истинного дна

кратера. При этом известно, что характерной особенностью ударных расплавов является их быстрое охлаждение за счет перемешивания с большим количеством холодных обломков пород, сопровождающееся резким увеличением вязкости. Для типичных условий образования кратеров время охлаждения расплава до равновесной с обломками температуры, когда расплав уже затвердевает, составляет около 100 с¹¹. Дальнейшее остывание залежей затвердевшего расплава за счет тепло-

¹¹ Onorato P. et al. — J. Geophys. Res., 1978, v. 83, № 136, p. 2789.

проводности может продолжаться тысячи лет.

На основании этих и других данных можно нарисовать примерный сценарий образования метеоритных кратеров различного размера. После падения метеорита и прохождения ударной волны породы мишени движутся по сложным траекториям, что приводит к росту чашеобразной переходной полости с отношением глубины к диаметру примерно 1/3. Породы в верхней части полости выбрасываются под некоторым углом к горизонту и отлагаются вокруг кратера. Нижняя часть полости образуется за счет вытеснения пород вниз и в стороны, что приводит, с одной стороны, к поднятию поверхности грунта вокруг полости, а с другой, к вытеснению части объема полости на «бесконечность» в виде упругой волны. Этот процесс можно в первом приближении считать подходящим для событий любого масштаба. Дальнейший ход событий принципиально различен и определяется прежде всего масштабом события. В малом масштабе дно переходной полости оказывается устойчивым и не меняет своей формы и положения в пространстве. Стенки переходной полости, сложенные раздробленным материалом, теряют устойчивость и обрушиваются, частично заполняя кратер¹². В событиях крупного масштаба дно переходной полости оказывается неустойчивым, и полость стремительно восстанавливается так, как если бы породы под кратером были сначала упруго деформированы. В результате такой «упругой отдачи» в зависимости от масштаба и особенностей геологического строения может возникнуть либо центральное поднятие, либо система концентрических колец. Можно предположить также, что поверхность вокруг переходной полости при ее «упругом» восстановлении проседает, увеличивая видимый диаметр кратерной депрессии.

К сожалению, этот сценарий количественно рассчитан лишь частично. Полная механическая модель реакции твердой коры планетных тел на метеоритный удар большого масштаба пока еще не создана¹³.

Итак, метеоритные кратеры существуют. Они не являются чем-то экзотическим, но занимают свое достаточно

значительное место в ряду природных событий, происходящих в нашей Солнечной системе. Кратеры определяют ландшафт многих планетных тел. На других телах они относительно редки только благодаря постоянному обновлению поверхности геологическими процессами.

С фактом существования метеоритных кратеров мы вынуждены считаться еще вот по какой причине. Земля не так уж надежно укрыта своей тонкой атмосферой от внешних воздействий, в том числе и от ударов метеоритов. В 1908 г. относительно небольшой Тунгусский метеорит (или ядро кометы) с энергией «всего» в 10—20 Мт тринитротолуола произвел воздействие, замеченное за тысячи километров. В 1947 г. Сихоте-Алинский метеорит разрушился над тайгой и создал обширное кратерное поле. И хотя вероятность попадания достаточно крупного метеорита в населенный пункт исчезающе мала, достаточно простого падения километрового астероида на материк или в океан (что эквивалентно взрыву 300 тыс. атомных бомб, разрушивших Хиросиму!), чтобы в климате Земли произошли долговременные глобальные изменения. Поэтому осознание реальности метеоритных кратеров необходимо еще и для того, чтобы понять, насколько уязвима жизнь на Земле. Быть может, пора уже поставить вопрос о создании постоянного космического патруля для предотвращения хотя и маловероятного, но возможного метеоритного удара.

Хочется сделать в заключение еще один, «чисто геологический» вывод. Если подтверждаются модели крупномасштабных, амплитудой до 10—20 км, поднятий горных пород под земными метеоритными кратерами, то, очевидно, имеет смысл проанализировать возможность сверхглубокого бурения в центральных поднятиях крупных метеоритных кратеров, где за счет космического события недра Земли стали чуточку ближе.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ГЕОЛОГИЯ АСТРОБЛЕМ. М.: Недра, 1980.

ИМПАКТИТЫ. М.: Изд-во МГУ, 1981.

ГЕОЛОГИЯ И ПЕТРОЛОГИЯ ВЗРЫВНЫХ МЕТЕОРИТНЫХ КРАТЕРОВ. Киев: Наукова думка, 1982.

¹² Grieve R. A. F., Carvin J. B. — J. Geophys. Res., 1984, v. 89, № B13, p. 11561.

¹³ Обзор имеющихся механических моделей этого процесса сделан Б. А. Ивановым. Механика кратерообразования. Сер.: Итоги науки. Механика твердого деформируемого тела, т. 14, ВИНТИ, М., 1981, с. 60.



Бабочка мертвая голова

С. В. Воловник
Мелитополь

Долгое время насекомых не относили к животным, требующим охраны, но сейчас более 200 видов внесены во 2-е издание «Красной книги СССР». В их числе оказалась и бабочка мертвая голова (*Acherontia atropos*) из семейства бражников (*Sphingidae*).

Свое название бабочка получила из-за охристо-желтого рисунка на темной спинке, напоминающего человеческий череп с двумя сложенными крест-накрест костями. Мертвая голова — самая крупная среди бражников (кроме тропических) бабочка, ее узкие длинные крылья достигают в размахе 12 см, а масса — более 5 г. На голове короткие усики с крючочками на вершине и огромные (около 4 мм в диаметре) глаза; жестким и очень коротким, короче усиков, хоботком мертвая голова отличается от всех прочих бражников.

На передних бархатистых крыльях неясный узор из бурых, черных, беловатых фигур разного очертания, на задних охристо-желтых — две поперечные черные полосы. Брюшко тоже желтое, с черными кольцами и широкой продольной темной полосой. Окраска всех частей тела довольно изменчива, известен ряд цветовых вариаций.

Окраска мертвой головы, как и многих других ночных бабочек, видимо, криптическая и демонстрационная одновременно. Днем она сидит на стволах деревьев со сложенными крыльями, и ее трудно заметить даже вблизи, а будучи потревоженной, бабочка резко распахивает крылья, при этом становятся видны задние яркие крылья и брюшко.

Мрачной репутацией мертвая голова обязана не только рисунку, но и редкой способности издавать звуки. Изда-



Бабочка мертвая голова.

На коре дерева мертвая голова почти не заметна.



ваемый ею звук, резкий и высокий, трудно назвать приятным. Бабочка может пищать на лету, сидя, ползая и особенно громко — когда чем-то потревожена. Обычные звуки, производимые трепещущими крыльями бабочек, не идут ни в какое сравнение со звуками мертвой головы. Еще Р. Реомюр, пытаясь отыскать источник звуков, выяснил, что ни трение крылышек друг о друга или о брюшко, или о грудь, ни трение брюшка о грудь, ни трение суставов не создают звука, и пришел к выводу, что писк рождается во «рту» бабочки.

В течение двух столетий многие исследователи изучали «голос» этой бабочки; вряд ли у мертвой головы оставалась часть тела, где бы ни искали источника звуков. Первый успех пришел в 1828 г. к К. Пассерини, который зафиксировал сокращение мышц головы во время писка и заключил, что звук возникает при сокращении глотки у основания хоботка. Почти через 100 лет Х. Прелл описал работу голосового аппарата в деталях, а в 1959 г. голос бабочки был записан на магнитную ленту и проведен анализ его физических параметров.

Теперь уже известно, как пищит мертвая голова. Через короткий хоботок в глотку засасывается воздух, эпифаринкс (гибкий хитиновый вырост верхней губы) вибрирует и замыкает полость хоботка; столбик воздуха в ней колеблется, и раздается низкий звук. Затем эпифаринкс слегка отводится, и за счет мощного мускульного сокращения воздух выталкивается: слышится пронзительный писк.

Таким образом, если насекомые в отличие от птиц не вокалисты, а инструменталисты, то мертвая голова — редкое, а возможно, и единственное исключение. Звуковой аппарат этой бабочки по принципу работы аналогичен звуковому аппарату высших позвоночных и человека. Интересно, что обеспокоенная чем-либо гусеница мертвой головы челюстями издает звук, напоминающий скрип зубов.

Каково биологическое значение этих звуков? По-видимому, они служат для отпугивания врагов. Не так давно пред-



Взрослые гусеницы и куколка (слева) мертвой головы.

стерегающие звуки обнаружены и у других бабочек.

Все бражники питаются нектаром: повисая над цветком, они пьют нектар длинным хоботком. Мертвая голова на это не способна — у нее слишком короткий хоботок. Обычная ее пища — сок, вытекающий из стволов деревьев и поврежденных плодов, кормится она и нектаром, если шмели прогрызли отверстия в венчиках цветов, или пьет его из цветов с поверхностными нектарниками. Однако всем продуктам она предпочитает пчелиный мед. Если хоботок молодой бабочки, еще не начавшей питаться, сильно расправить и погрузить в мед, неподвижная, апатичная секунду назад, она начинает хлопать крыльями, летать, бегать, разбрызгивая мед вокруг, наконец, падает в него и сосет его ненасытно. Нередко эта страсть оказывается для мертвой головы роковой. Весной и осенью пчеловоды находят в ульях хитиновые остатки бабочки, залепленные воском, и обломанные

хоботки, застрявшие в сотах. Видимо, далеко не всегда удается мертвой голове найти выход из улья.

В процессе эволюции бабочка приобрела медовую специализацию: короткий жесткий колющий хоботок для высасывания меда из восковых сотов и твердые покровы для защиты от пчелиного жала. Во время ночной трапезы мертвая голова жадно пьет мед, несмотря на облепивших и жалящих пчел, она лишь пищит и стряхивает их резкими движениями брюшка и крыльев. Однажды из бабочки, вытасненной ночью из гудящего улья, мне удалось извлечь чайную ложку меда — почти 5 г! Выбравшись из улья, отяжелевшая бабочка устраивается где-нибудь поблизости на дереве. Первое время она кажется больной, но через несколько часов к ней возвращается обычная активность.

О размножении и развитии мертвой головы почти ничего не было известно до 70-х годов: из-за редкости и ночного образа жизни чрезвычайно трудными были полевые наблюдения. Только в 1977 г. Х. Харбиху удалось наладить разведе-

ние бабочки в лаборатории и выяснить, как проходят ее брачный период и постэмбриональное развитие.

В половом поведении, вероятно, важную роль играет запах, выделяемый железами, находящимися в брюшке самца. Возбужденные бабочки выворачивают пучки желто-оранжевых волосков, незаметных в покое, и появляется запах, напоминающий аромат сушеных грибов. Состав секрета, его точная биологическая роль неясны. Спариваться бабочки могут на 2—3-й день жизни. Самка откладывает от 30 до 200 яиц (в среднем 140—150) на растения, пригодные в пищу гусеницам. Со временем светло-зеленые, блестящие и почти прозрачные яйца желтеют. Продолжительность эмбрионального развития зависит от температуры, в моем садке при 20 °C гусеницы появились через 8 дней из всех яиц почти одновременно. Гусеница мертвой головы зеленовато-желтого цвета с темно-синими точками по всему телу (за исключением первых трех члеников и последнего) и красивым синим рисунком; с рогом, изогнутым в виде буквы S.

В первый час жизни челюсти темнеют, твердеют и она начинает питаться. В рацион гусениц входит более 40 видов растений, в том числе жасмин, бересклет, береза, малина и др., но предпочтение отдается пасленовым, особенно картофелю. В лаборатории гусеницы активны и днем и ночью. Стадии гусеницы длится 36—60 дней и включает 4 линьки.

В конце пятого возраста гусеница становится беспокойной и зарывается в почву. На глубине 15—20 см она уплотняет стенки норки, делает колыбельку размером с куриное яйцо, в ней превращается в блестящую черно-бурую куколку, и в таком виде живет больше месяца. Куколки очень уязвимы, особенно в ранний период, пока еще не затвердел кокон: мне не раз приносили выкопанных на картофельном поле куколок, но ни разу не удалось вывести из них бабочек.

Только что появившаяся из куколки бабочка обычно влезает на какой-нибудь предмет, через 2 часа ее крылья затвер-

девают, и она может летать. В южных районах ареала мертвой головы цикл ее развития проходит за месяц, и в течение года одно поколение следует за другим. На юге Украины лет этих бабочек начинается в конце весны — начале лета, в июле появляются гусеницы, а в сентябре — бабочки осеннего поколения. Потомство осенних бабочек успевает превратиться в куколку, которая в состоянии диапаузы переживает зиму.

Сейчас мертвая голова встречается в Средней и Южной Европе, Африке, Турции, Северном Иране, на Ближнем Востоке. В Советском Союзе она обитает на юге Европейской части, Кавказе, в Крыму, Туркмении. Ее можно встретить под Рязанью и даже под Ленинградом — большие крылья, мощная мускулатура, огромные воздушные мешки, полностью заполняющие три первых членика брюшка, и высококалорийная пища — позволяют бабочке совершать далекие путешествия со скоростью до 50 км/ч. Для мертвой головы не преграда высокие хребты Альп (они пересекают их ежегодно) и большие пространства над Балтикой. Весной и, возможно, в начале лета бабочки летят в основном на север, осенью — на юг. Отдельные особи каждый год залетают в Центральную Европу, среднюю полосу России, некоторые добираются до Исландии и Скандинавии.

Во время вспышки размножения мертвой головы отмечались ее массовые перелеты. По некоторым данным, эти волны жизни повторяются каждые 11 лет. Таким годом был 1956-й, когда мертвая голова встречалась по всей Европе, причем бывали стаи не менее чем из 100 особей. Перелеты ее во многом загадочны: неясно, что заставляет бабочку отправляться в далекие странствия, как она ориентируется, почему не задерживается в благоприятной для размножения местности, а летит дальше, часто в суровые и малоподходящие для этого районы? Каковы, наконец, причины колебания численности в пределах постоянного ареала?

Есть ли стабильные популяции мертвой головы в средних и северных широтах? Мно-

гие считают, что здесь гусениц и куколок губят зимние холода, однако по мнению Х. Харбиха, низкие температуры куколкам (по крайней мере части их) не страшны, но при коротких осенних днях из них появляются только бесплодные самки. Это и не позволяет виду стать оседлым. По другому предположению, бесплодность объясняется скудностью пищи: осенью путь к медовым кладовым перекрыт. К. Харцу, например, удалось докормить вышедших на воле бабочек осеннего поколения до спаривания и откладки яиц. Временное бесплодие в природе он считает адаптивным: если бы бабочки откладывали яйца сразу же после выхода из куколок, потомство погибло бы от холода, а не отягощенные зрелыми яйцами бабочки могли путешествовать «на легке». Известный всем мигрант — пустынная саранча — тоже отправляется в путь с несозревшими яйцами, вырезают они по дороге.

Отношение человека к мертвой голове было разным. В старину ее боялись и старались не трогать. Когда обнаружилось ее пристрастие к меду, пчеловоды стали уничтожать бабочку. В действительности же сколько-нибудь серьезного ущерба пчеловодству мертвая голова не наносит, да и дорогу в улей легко преградить решетками. Расширяющиеся картофельные поля в какой-то мере способствовали расселению мертвой головы, однако, видимо, из-за борьбы с вредителями гибнут ее гусеницы и куколки.

На территории СССР и стран Европы мертвая голова стала довольно редким видом из-за гибели гусениц и любительского коллекционирования. Охраняется она в Польше, ГДР и других странах Европы, в 1976 г. занесена в «Красную книгу Украинской ССР», а в 1984 г. — в «Красную книгу СССР». Можно надеяться, что включение мертвой головы в «Красную книгу СССР» привлечет к ней внимание специалистов. Лишь более детальное знание биологии этой своеобразной бабочки позволит разработать и осуществить меры по ее охране. Тогда наши потомки смогут встретить бабочку не под стеклом, а в природе.

Маниоковое дерево: происхождение тропического земледелия в Америке

Ю. Е. Березкин



Юрий Евгеньевич Березкин, кандидат исторических наук, младший научный сотрудник Ленинградского отделения Института этнографии им. Н. Н. Миклухо-Маклая АН СССР. Занимается изучением древних культур Южной Америки. Автор книг: *Древнее Перу. Новые факты — новые гипотезы*. М., 1982; *Мочика. Цивилизация индейцев побережья Перу в I—V вв. Л., 1983*. Неоднократно печатался в «Природе».

МАНИОК — «ХЛЕБ» ИНДЕЙЦЕВ

Заключенный в названии статьи парадокс читатель заметит не сразу, потому что вряд ли знает, как выглядит маниок. Однако для миллионов людей в тропических областях Америки и Африки это растение — столь же обычная культура, как для европейцев — пшеница, а для азиатов — рис. Маниок — кустарник. Размножают его отростками. Через 6—9 месяцев созревают клубни (точнее — корневища), которые можно выкапывать на протяжении двух лет. По калорийности маниок намного превосходит большинство известных человеку продовольственных культур, хотя беден протеином. Поэтому при долгом отсутствии в рационе других, богатых белками продуктов (мясо, рыба или хотя бы фасоль и тыква) питание одним маниоком ослабляет организм, особенно детский. И тем не менее он — главная пища, «хлеб» индейцев.

Существуют две разновидности маниока — сладкий (*Manihot esculenta*) и горький (*Manihot utilissima*). Последний отличается тем, что в нем больше крахмала, после очистки от которого его можно дольше хранить — а это ценное свойство во влажном тропическом климате. Однако горький маниок ядовит, ибо содержит синильную кислоту. Для удаления этой

кислоты существует ряд способов, таких как, например, длительное отжимание сока. А один из способов таков: клубни оставляют в проточной воде, и яд «вымывается».

В Африку маниок попал после Колумба, его родина — низменности Нового Света. В этих районах, помимо маниока (и, возможно, вместе с ним), стали культивировать и другие корне- и клубнеплоды, среди которых особенно важны ямс и батат¹. Тогда, как, впрочем, и сейчас, плотность населения лесных тропических областей Нового Света была очень мала, так как альтернативные источники питания здесь крайне ограничены. Рыболовство эффективно в сухой сезон, но почти невозможно во время длящихся месяцами паводков, а дичи мало. Как отметил американский этнограф К. Бэтт, успешно охотиться в Амазонии могут лишь земледельцы, располагающие для этого большим свободным временем и гарантированным запасом пищи (пусть и бедной белками)².

До сих пор остается неясным, где именно стал культивироваться маниок. Воп-

¹ О тропических корне- и клубнеплодах см.: Никишанова Т. И. Растения для космических плантаций. — *Природа*, 1977, № 10, с. 105.

² Batt C. E. — *El Dorado*, 1976, № 2, p. 52.

рос этот интересуют ботаников, но еще больше историков, ибо тем самым удалось бы пролить хоть какой-то свет на весьма запутанную проблему происхождения культуры индейцев южно- и центральноамериканских тропических лесов, основанной (до сих пор или в прошлом) на выращивании клубнеплодов. Выдвигались прямо противоположные гипотезы: то ли эта культура возникла под воздействием очагов земледелия и цивилизации в Андах и Мезоамерике на отсталые лесные племена, то ли она вполне оригинальна и, очень

Исходя из данных ботаники, культурный маниок мог быть выведен в одном из трех центров: в Мезоамерике, на севере Колумбии и Венесуэлы и на северо-востоке Бразилии. Последний район (в пользу которого склонялся Н. И. Вавилов) сейчас можно, видимо, исключить, так как, по данным археологии и этнографии, племена с развитой земледельческой культурой проникли сюда не ранее I тысячелетия. Если здесь и жили до них земледельцы, то они, скорее всего, сажали кукурузу, остатки которой, относящиеся к III тысяче-



Распространение дикорастущего маниока и мифа о «маниоковом дереве».

Число видов:

10 и более

5—9

1—4

Возможные очаги введения маниока в культуру:

2 мезоамериканский [1], колумбийско-венесуэльский [2], восточнобразильский [3].

Границы распространения мифологического сюжета о «маниоковом дереве»

Места записи мифов

Мифологические сюжеты о «маниоковом дереве» в памятниках древнего изобразительного искусства и в современных ритуалах.

возможно, сама повлияла на процесс складывания цивилизации в передовых областях Нового Света. Одна лишь этнография решить эту проблему бессильна, а археологи не всегда могут помочь, так как лесные индейцы пользовались в основном предметами, сделанными из природных материалов, которые быстро разлагаются. Особенно ничтожен шанс найти стоянки, относящиеся ко времени до распространения керамики.

летию до н. э., были недавно найдены в пещерах штата Минас-Жерайс³.

Наша задача — обратить внимание на факты, обычно неизвестные ни ботани-

³ Точные ботанические характеристики этой кукурузы пока не опубликованы, но почти наверняка это был один из низкоурожайных сортов. Основу хозяйства продолжали составлять охота и собирательство. См.: Prous A.— J. de la Soc. des Americanistes, 1981, t. 67, p. 163.

кам, ни археологам и свидетельствующие в пользу колумбийско-венесуэльского очага происхождения тропического земледелия Нового Света. Речь идет о мифах индейцев.

КТО ПРИДУМАЛ ТОПОР?

У земледельческих народов Америки записаны сотни, если не тысячи мифов о происхождении культурных растений, но распределяются они по немногим (около десятка) основным сюжетам. Не мог ли каждый из этих сюжетов зародиться в особом земледельческом центре, а затем распространиться вместе с введенными там в культуру растениями? В общем виде такое предположение ошибочно. Сюжеты мифов древнее большинства явлений культуры, которые теперь с ними связывают. Скажем, история о краже семян кукурузы на небе у божества могла вполне независимо в разных местах развиться из доземледельческих мифов, где также говорится о похищении, но не кукурузы, а воды, сна, ритуалов и т. п.

Есть, однако, один сюжет, в котором земледельческие реалии определяют не детали, а самую основу текстов и который в эпоху охотников-собирателей сложиться не мог. Это миф о рубке гигантского дерева, поднявшегося от земли до неба, на ветвях которого висели плоды всех культурных растений. Чаще всего такое дерево отождествляется либо с великаном леса — сейбой, либо — с маникомом⁴. Срубив дерево, люди завладели растениями.

Каменный топор у индейцев появился, скорее всего, вместе с земледелием и в ответ на его потребности (во всяком случае других данных о его появлении нет). Почва и климат американских низменностей таковы, что примитивное земледелие возможно только в лесу, где пепел от сожженных деревьев удобряет почву. У майя и других народов этой зоны топор был основным и по-существу единственным орудием земледельца, таким же символом сельскохозяйственного труда, как мотыга, а затем плуг на Ближнем Востоке. Рубка леса являлась самым тяжелым этапом работы, но зато рыхлить почву не требовалось, семена и побеги сажали в ямки, сделанные острой палкой.

Каменные топоры высоко ценились

и в межплеменном обмене являлись едва ли не самым главным предметом. Вряд ли случайно, что на побережье Эквадора, где в позднее время появились примитивные «деньги», они имели форму топоров⁵.

Каменных топоров, относящихся к доземледельческой эпохе, в Южной Америке не найдено. В Андах, например, где было распространено не подсечно-огневое, а ирригационное и террасное земледелие, топоры оставались не известны до тех пор, пока в обиход не вошли медные орудия (в первых веках нашей эры). Форма этих



Маниок.

орудий, вероятно, свидетельствует о заимствовании ее у племен Амазонии.

Кроме рубки леса под поле, топор в лесной зоне мог, конечно, пригодиться при изготовлении лодок и каркасов жилищ. Однако лодок-долбленок доземледель-

⁴ Сейба, возможно, избрана не только из-за величины. В одном из мифов обыгрывается сходство ее листьев с листьями маниока и мягкость древесины, как бы напоминающей клубни.

⁵ См.: Березкин Ю. Е. Эль-Ниньо и его последствия для археологии Перу. — Природа, 1985, № 9, с. 100.

ческие племена делать, по-видимому, не умели, а их жилища типа навесов и шалашей можно было сооружать и голыми руками.

Так как в мифе о дереве с растущими на ветвях разнообразными плодами главное — его низвержение, а процесс рубки всегда описывается детально и со знанием дела, сюжет не мог возникнуть до появления земледелия и топора. Кроме того, весь миф — не что иное, как гиперболизация рассказа о работе земледельца, ведущейся с самыми обычными целями: рубить лес, чтобы получить плоды культурных растений. Отдельные тексты, в которых дерево рубят только с целью добыть заключенную внутри ствола воду, можно считать вторичными, возникшими по образцу земледельческого мифа. Характерное для него сочетание специфических подробностей исключает многократное независимое возникновение.

ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИЙ МИФ И ЕГО ВАРИАНТЫ

Представления о мировом дереве известны практически всем первобытным народам, но миф о его рубке существовал лишь в Центральной и Южной Америке в пределах четко очерченного ареала: на севере от области расселения майя до южной границы Колумбии и до Гвианы. Этот миф был известен также в восточной Бразилии племенам языковой семьи «же» и некоторым племенам восточной Боливии и прилегающих районов западной Бразилии. В Парагвае и на севере Аргентины встречаются сильно упрощенные варианты (о чем ниже).

Рассказ сопровождается многими характерными подробностями. Герои сталкиваются с тремя трудностями. Во-первых, им не сразу удается подобрать подходящий топор. Во-вторых, как только люди уходят отдохнуть, вырубка зарастает, и работу надо начинать заново, не прекращая ни днем, ни ночью. В-третьих, даже перерубленное, дерево продолжает висеть, зацепившись за небо. Человек-белка послан наверх с опасным поручением перерезать удерживающие ствол лианы. Упав, ствол превращается в реку, ветви — в притоки, щепки — в рыб.

Полный набор всех мотивов встречается лишь у племен Колумбии, где и следует искать вероятный центр распространения сюжета. У костариканских и панамских индейцев дерево превращается не в реку, а в море — явно вторичное переос-

мысление, ибо ствол мог отождествляться только с рекой (это две оси мира: вертикальная — дерево и горизонтальная — река). У народов Гвианы нет рассказов о замене топора. В восточной Бразилии и у майя опущен мотив поддерживающих ствол лиан и отсутствует его связь с происхождением вод. В боливийско-западно-бразильских мифах нет мотива лиан и растущей вырубки.

Любопытны мифы из южной части последнего ареала — засушливой равнины Чако, где жили племена, слабо знакомые как с земледелием, так и с топорами⁶. У них речь идет о дереве, на ветвях которого — побеги не культурных, а диких растений; их достают, сбивая камнями. Перед нами либо древнейшая форма мифа, из которой впоследствии развился земледельческий, либо (что вероятнее) его позднее переосмысление в попытке приспособить к условиям жизни остальных окраинных племен.

В Гвиане, у майя, и в западнобразильско-боливийском районе есть рассказы о героях, которые, благодаря своим волшебным способностям, фантастически быстро сводят на участке лес, но тот к утру вырастает вновь. Центром распространения таких мифов могла быть также Колумбия, занимающая промежуточное положение среди трех других областей. В дальнейшем в Колумбии этот вариант мифа оказался вытеснен другими.

Гипотеза о центре происхождения американского тропического земледелия в низменностях северной Колумбии и Венесуэлы принадлежит американскому ботанику К. Сауэру, идеи которого в 1970-х годах развил археолог Д. Латрап. Латрап в ее подтверждение ссылался главным образом на находки в этих районах очень древней для Нового Света керамики (III тысячелетие до н. э.). Но хотя глиняными сосудами могли пользоваться, скорее, оседлые земледельцы, чем охотники-собиратели, насколько жесткой можно считать такую зависимость, сказать, конечно, трудно.

Соотечественница Д. Латрапа А. Рузвельт недавно нашла на среднем Ориноко керамику, также относящуюся к III тысячелетию до н. э. вместе с фрагментами глиняных жаровен (предназначенных, вероятно, для сушки маниоковой муки) и мелкими

⁶ Индейцы чамакоко, например, сами не умели делать каменные топоры. Они находили их в неизвестно кем оставленных древних захоронениях и употребляли главным образом в ритуалах.



Тряпичные куклы, стоящие вокруг деревца с плодами на ветвях. Сцена из мифа или изображение ритуала. Побережье Перу, культура чанкай. XIV в.

РИТУАЛЬНАЯ ИГРА В МЯЧ: МАЙЯ И НАМБИКВАРА

осколками кремня (можно предположить, что это зубцы терок для растирания клубней). Однако и эти находки не доказывают, что именно в Венесуэле надо искать родину маниока. Их почтенный (и к тому же не окончательно доказанный) возраст все-таки несоизмерим с предполагаемым временем начала выращивания клубнеплодов, отстоящим от нас вряд ли меньше, чем на 7 тысяч лет. Ведь в середине III тысячелетия до н. э. сладкий маниок уже появился на побережье Перу — в районе, далеком от любого возможного центра его происхождения. Первые опыты по выведению культурных клубнеплодов не могли оставить после себя археологических следов, так как сами растения обычно не сохраняются, а сложная технология обработки горького маниока (жаровни, терки) развилась позже. Некоторым племенам к югу от Амазонки она так и осталась неизвестна, и они удаляли яд более примитивными и трудоемкими способами. В такой ситуации свидетельства сравнительной мифологии приобретают особую ценность.

Выведенные на севере Южной Америки тропические клубнеплоды постепенно проникали в другие районы. Вместе с новым видом хозяйства распространялась и культура племен, которые первыми освоили земледелие. Как известно, мифы могут переводиться с одного языка на другой без ущерба для содержания. После того как сюжет сформировался, на его структуру слабо влияют дальнейшие изменения в хозяйстве, быту и общественном строе, в нем могут сохраняться мотивы, давно утратившие связь с породившей их действительностью. Поэтому мифы могли остаться единственными свидетельствами переселений и контактов, происходивших 5—6 тыс. лет назад.

Миф о «маниоковом дереве» — не единственный, чье распространение допустимо связать с влиянием колумбийско-венесуэльского земледельческого центра. Есть и другие, из которых особенного внимания заслуживает миф о «героях-мстителях» с включенным в него мотивом ритуальной игры в мяч.

Как таковой, миф о мстителях знаком



Статуя женщины с клыками ягуара. Возможно, это персонаж мифа о героях-мстителях. Южная Колумбия, культура сан-агустин. I тысячелетие.

почти всем народам Нового Света и был, видимо, принесен еще с азиатской прародины. Большинству индейцев Америки знакома также ритуальная игра в мяч, немного похожая на футбол. Особенное развитие она получила в Мезоамерике, Колумбии и Венесуэле.

В мифах индейцев Колумбии (уитото), Коста-Рики (кабекар), Мезоамерики (майя, тараски), а также западной Бразилии (намбиквара, иранше) борьба героев с их противниками имеет тесную связь с игрой. Побеждает тот, чьи колдовские способности оказываются сильнее, кто выдерживает удар мяча или в силах возродиться после того, как его приносят в жертву. Тексты с подобным сочетанием мотивов больше неизвестны нигде. Особенно важно, что у западнобразильских племен игра не сопровождалась сложными церемониями, а человеческих жертвоприношений не было вовсе. Мотив гибели героев в ходе игры не вытекает здесь из логики ритуальной практики, он явно заимствован.

Предположение о связи отсталых намбиквара с территориально далекими от них «греками Нового Света» — майя — может показаться еретическим, но следует учесть, что, во-первых, речь идет о периоде до возникновения каких-либо цивилизаций, а, во-вторых, что влияния шли, скорее всего, не из Мезоамерики, а из промежуточной области, Колумбии. Древний вариант мифа о мстителях включал, по-видимому, рассказ не только об игре в мяч, но и о том, как герои, пользуясь своими сверхчеловеческими способностями, валят лес на участке под поле. Почему соединены оба мифа, мы скажем позже. Во всяком случае оба эпизода есть и в мифах у майя, и у намбиквара. Рассказ о волшебной рубке леса соединен с мифом о мстителях также и у индейцев варрау, живущих в дельте Ориноко, и, вероятно, на Укаяли у племени шипибо (их миф записан не полностью).

Рассказ об игре в мяч не только соединен с описанием волшебной рубки леса под поле. По крайней мере в одном случае (у индейцев иранше) он переплетен с основным нашим мифом о «маниоковом дереве»⁷. Не потому ли сочетаются эти мотивы, что обряд игры в мяч совершался с целью благотворно повлиять на урожай? Подобный смысл имели многие игры индейцев.

Короче говоря, ареал мифа о «маниоковом дереве» примерно совпадает с распространением других сюжетов, насыщенных земледельческими мотивами. Этот мифологический комплекс связан также с представлениями о мироздании, наиболее полно отраженными в символике домов и святилищ.

ЧЕЛОВЕК — ДОМ — ВСЕЛЕННАЯ

Почему световое отверстие в доме называется окном (от «ока»), чердачное же окно — слуховое, или почему на крышу кладут черепицу (от «черепа»)?

У многих народов мира жилище, дом или храм уподоблялись, с одной стороны, человеческому телу, а с другой — миру, вселенной. В Южной Америке это явление тоже известно, но в развитой форме лишь у племен к северу от Амазонии, т. е. там,

⁷ Впрочем, у иранше, как и у восточнобразильских «же», дерево стало кукурузным — не потому ли, что к югу от Амазонской низменности кукуруза появилась раньше, чем маниок?

⁸ О символическом истолковании дома см.: Байбурин А. Жилище в обрядах и представлениях восточных славян. Л., 1983.

где, вероятно, находился древний центр подсечно-огневого земледелия.

У южновенесуэльских макиритаре, например, сооружение общинного дома, достигающего в высоту 18 м, а в диаметре — более 25 м, символизирует акт творения, строительство мира, самый большой праздник. Центральная опора здания представляется тем самым «маниковым деревом», о котором шла речь, а не просто мировой осью. Ветки маниока привязывают к макушке столба и бросают в яму, выкопанную под его основание. У карибов Гвианы Французской общинные дома центрального столба не имеют, но миф легко приспособился к этой ситуации: в нем описывается дом на небе, крышу которого поддерживают несколько «маниковых деревьев», стоящих по периметру. У племен южной Колумбии отдельные конструктивные части общинных домов сопоставлены не только с элементами мироздания, но и с отдельными частями мужского либо женского тела. У индейцев северной Колумбии на «мужчин» и «женщин» делятся храмы, каждый из которых — маленькая копия вселенной⁹.

То, что именно в древнейшем очаге подсечно-огневого земледелия постройки получили наиболее полное символическое истолкование, нет ничего удивительного. Во-первых, развитие земледелия привело к общему усложнению культуры. Появились профессионалы-жрецы, создававшие изощренные космологии. Во-вторых, овладев тысячелетия назад техникой обработки дерева, индейцы научились возводить конструктивно сложные дома высотой до 25 м — настоящее чудо строительного искусства. Карибы вайвай, например, умели так закреплять каркас здания, что обходились без центрального столба. Верхняя часть этого столба длиной 10—20 м свешивалась с «потолка», а нижнюю отрубали и убирали, освобождая просторный зал для собраний и танцев. Строители того времени сравнивали свою работу с актом бога-творца, который строил мир как дом.

Гигантские общинные жилища из мощных бревен встречались также у племен юго-западной Амазонии, живших к северу от боливийско-бразильской группы, но об их символическом истолковании ничего не известно. На юге и востоке Южной Америки до прихода с запада племени тупи-гуарани (носителей развитой земледельческой



Индеец, исполняющий ритуал.

культуры) преобладали жилища типа навесов и шалашей. План селений — в форме круга или подковы — отражал особенности социальной организации, но космологические параллели не проводились.

МАНИОК ИЛИ АЛЬГАРРОБА?

В Андах возникновение земледелия не было связано с колумбийско-венесуэльским очагом. Здесь были окультурены иные растения, для разбивки полей не требовалось рубить лес. Поэтому характерный для севера Южной Америки комплекс мифов и ритуалов не получил здесь распространения. Однако между обеими областями очень рано завязались контакты, о чем свидетельствуют находки на перуанском побережье обрывков типичной для Амазонии лубяной материи, а также маниока и, вероятно, батата в слоях III тысячелетия до н. э. Маниок и батат могли проникнуть из Амазонии в Анды, всего вероятнее, на севере Перу, где горные цепи становятся ниже и уже. Перевалы на путях из бассейна р. Мараньон к побережью расположены здесь на высоте лишь немногим более 2000 м над уровнем моря. Маниок

⁹ Об этих храмах см.: Березкин Ю. Е. Исчезнувшие народы: тайрона. — Природа, 1981, № 12, с. 76.

в Андах можно выращивать и на высоте 2200 м, а батат — 2500 м. В Эквадоре, а также в центральном и южном Перу и на севере Чили горные цепи не опускаются ниже 3000 м.

Казалось бы, именно на севере Перу мы можем встретиться хотя бы с какими-то отголосками мифа о «маниоковом дереве». На первый взгляд, так оно и есть. Еще недавно в дни карнавала в этом районе исполняли танец «юнса» вокруг украшенного лентами дерева. В перерывах мужчины брали мачете и по очереди рубили ствол. Тот, от чьего удара дерево падало, становился королем праздника. При всем испанском — карнавальном — колорите основа обряда индейская. Об этом свидетельствует как ритуальный обычай рубить дерево (не характерный для Европы), так и особенно название ритуала — юнса — слово с неизвестным значением, заимствованное из вымершего языка индейцев североперуанского побережья. Сейчас, когда обряд распространился дальше на юг, его уже называют по-испански — «кортамонте» (рубка дерева).

В одном из погребений культуры чанкай (к северу от Лимы) найдена хлопчатобумажная подушечка XIV в. н. э. Она служит подставкой для тряпичных кукол, ведущих, скорее всего, хоровод вокруг дерева. Не исключено, что перед нами изображение ритуала типа юнса.

Однако если мы попытаемся определить вид того дерева, которое прибрежные перуанцы (по горным районам данных нет) считали в древности «мировым» и которому придавали поэтому мифические черты, то убедимся, что это не маниок и не кукуруза, а местная дикорастущая альгарроба (*Prosopis*). Ее ветви со съедобными бобами хорошо опознаются на всех изображениях, найденных от эквадорской границы до долины Наска на юге и созданных на рубеже нашей эры вплоть до XII—XIII вв. Сцены рубки дерева неизвестны.

Альгарробой является и то упоминавшееся выше мифическое дерево у племен, живших на территории Чако, с которого сбивали камнями побеги различных растений. В одном из мифов Чако обнаруживается и ритуал, подобный юнса. Возможно, что представления об альгарробе как мировом дереве — древнейший (может быть, еще доземледельческий) пласт верований, общий для народов Центральных Анд и Чако, в чьих мифах много сходных мотивов. В Чако на него наложились культурные влияния северной Амазонии (через восточную Боливию), не достигшие побе-

режья Перу. Зона распространения мифов о «маниоковом дереве» резко обрывается немного южнее колумбийско-перуанской границы, она не доходит до места, где открывается удобный путь из Амазонии к перуанскому побережью. Это нельзя объяснить недостатком данных — мифы племен северо-восточного Перу и восточного Эквадора известны неплохо. Быть может, в древности распространение преданий о «маниоковом дереве» было здесь остановлено встречным влиянием андского земледельческого очага, породившего иные сюжеты. Это еще предстоит выяснить.

Пожалуй, единственную близкую аналогию «маниоковому дереву» в Андах можно увидеть в обычае современных индейцев района Куско (где находилась столица инков) делать из жердочек деревце накануне сбора урожая и вешать на одну веточку кукурузу, на другую — картофелину и т. д. Однако никаких мифов, объясняющих этот обычай, не сохранилось. Как он появился в Андах — неизвестно. Интересно, что у майя Мексики и Гватемалы (в отличие от майя группы мопан в Белизе) ритуал тоже пережил миф. Современных преданий о «маниоковом дереве» здесь не записано, но сохранился обряд воздвижения «дерева изобилия», к ветвям которого привязывают клубни ямса и плоды тыквы-горлянки.

Итак, анализ индейских мифов привел нас к выводу, что сюжеты, теснее всего связанные с тропическим подсечно-огневым земледелием, возникли первоначально на территории Колумбии и Венесуэлы, и уже потом проникли в Центральную Америку, восточную Боливию, Бразилию и Гвиану. Очень вероятно, что эта картина отражает зарождение и распространение земледелия, основанного на выращивании корне- и клубнеплодов, прежде всего маниока.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Байбури А. К. ЖИЛИЩЕ В ОБРЯДАХ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ВОСТОЧНЫХ СЛАВЯН. Л.: Наука, 1983

Березкин Ю. Е. ИСЧЕЗНУВШИЕ НАРОДЫ. ТАЙРОНА. — Природа, 1981, № 12

Березкин Ю. Е. ДРЕВНЕЕ ПЕРУ. НОВЫЕ ФАКТЫ — НОВЫЕ ГИПОТЕЗЫ. М.: Знание, 1982

Древние рудокопы Приморья

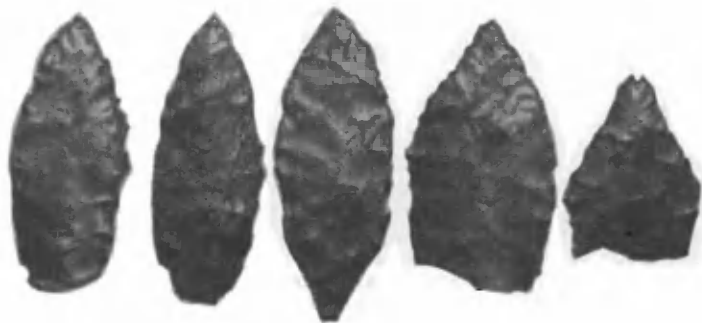
Н. А. Кононенко,
кандидат исторических наук
Владивосток

Отражением деятельности первобытных коллективов в археологическом материале являются прежде всего орудия труда, а также фаунистические и флористические остатки. Однако последние не всегда сохраняются на древних памятниках, что ограничивает возможности их реконструкции.

На приморских памятниках, за редким исключением, органический материал не сохраняется. Поэтому при анализе вопросов, связанных с древним хозяйством местных племен, исследователи исходили в основном из наличия или отсутствия орудий, связанных с той или иной его отраслью. Так, находки каменных мотыг, зернотерок и курантов легли в основу гипотезы о развитии земледелия в Приморье в III тысячелетии до н. э.¹

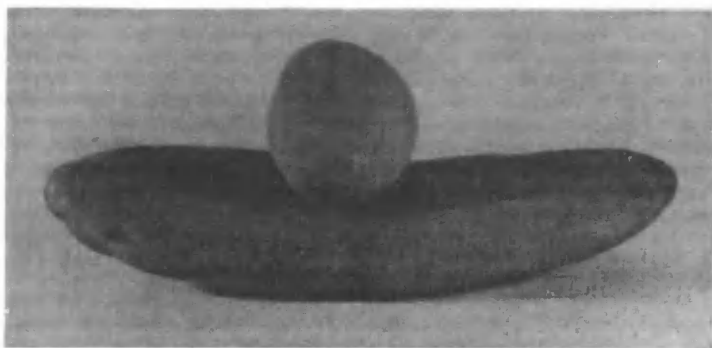
Однако — так ли это? Всегда ли ученые учитывают тот факт, что подобные орудия могли использоваться в разных видах деятельности, например в собирательстве или горном деле? Да назначение и других орудий — пестов, резцов, пилок, отжимников, отбойников — часто не всегда ясно. Поэтому восстановление хозяйственной деятельности племен только по данным археологии — дело достаточно проблематичное.

В последние десятилетия в практику исследования вопросов первобытной экономики все шире внедряется эксперимен-



Каменные наконечники стрел и дротиков, найденные на поселении Валентин-перешеек.

Краскотерка с курантом с поселения Валентин-перешеек.



тально-трассологический метод изучения орудий труда, разработанный С. А. Семеновым². Этот метод основывается на изучении рабочих поверхностей орудий под микроскопом, что позволяет по следам изношенности («traces» в переводе с французского означает «след», «отпечаток»), оставшимся от выполненной в древности работы, восстановить функции того или иного орудия и его роль в хозяйстве. Определяются эти функции и экспериментальным путем. Исследователи имитируют какое-либо, уподобленное

прежним, орудие (например, мотыгу) и, применяя его в разных хозяйственных сферах, следят за «почерком» тех следов, которые появляются на нем в результате рабочей деятельности. Сопоставление характера износа на поверхностях экспериментальных орудий труда и найденных в результате археологических раскопок позволяет выявить сферу применения последних.

В Приморье экспериментально-трассологический метод впервые был применен в конце 70-х годов при исследовании орудий, найденных на неолитических поселениях Валентин-перешеек, Евстафий I и Киевка, раскопанных А. В. Гарковик и И. С. Жушиховской. Памятники располагаются на юго-восточ-

¹ Окладников А. П., Бродянский Д. Л. — Сов. этнография, 1969, № 2, с. 3. См. также: Деревянко А. П. Ранний железный век Приамурья. Новосибирск, 1973.

² Семенов С. А. — Материалы и исслед. по археол. СССР, 1957, № 54.

ном побережье Приморья, отделенном от континентальной части края хребтами Сихотэ-Алиня. Изучение каменных орудий и реконструкция экологического окружения прибрежной зоны дали возможность выявить хозяйственную специфику прибрежных племен в III—II тысячелетиях до н. э.

Состав орудий свидетельствует о том, что в хозяйстве того времени большое значение имела охота. На Валентин-перешейке охотничьи орудия составляют около 84 %, в Киевке — почти 77 %, в Евстафии I — более 66 % всех находок. Это в основном разнообразные по форме и размерам наконечники стрел и дротиков. Для разделки туш животных использовались многочисленные каменные ретушированные ножи и вкладыши.

Немалую роль в хозяйстве прибрежных племен играло рыболовство, о чем свидетельствуют каменные грузила, находки которых составляют на Валентин-перешейке 15 %, в Киевке — 17 %, в Евстафии I — почти 27 % всех находок. В данной отрасли хозяйства также могли использоваться ножи, в функции которых входили чистка, потрошение и разделка рыбы.

Собирательство занимало в хозяйстве этого периода небольшую удельную вес. Непосредственными «свидетелями» собирательства на Валентин-перешейке являются обугленные кедровые и маньчжурские орехи, лещина, желуди. В орудийных комплексах существование этой отрасли подтверждается наличием курантов, терочников и пестов, составляющих на Валентин-перешейке около 2 %, в Киевке — 7 %, в Евстафии I — более 7 % находок.

Но — обратим внимание — именно находки терочников, пестов и каменных мотыг в памятниках III тысячелетия до н. э. были, как отмечалось выше, главным доказательством раннего развития земледелия в Приморье. На поселениях Валентин-перешейки подобных изделий сотни. Между тем при трасологическом анализе, которому подверглись более 260 орудий, выяснилось, что лишь 18 сохранили следы растирания

каких-то мягких материалов, очевидно, продуктов собирательства — не земледелия. На остальных — следы растирки гораздо более жестких материалов.

Своеобразны следы срабатанности и на мотыгах — их более 700. Из них только для 7 характерна изношенность, возникающая при работе на относительно мягкой почве. Остальные мотыги разбиты так сильно, что это указывает, скорее, на соприкосновение с твердым грунтом. Что же это за грунт?

В районе раскопок археологи провели консультации с геологами, которые исследовали эту территорию. В результате были обнаружены выходы на поверхность небольших жил сильно окисленных железных руд (гематит-лимонит) в непосредственной близости от Валентин-перешейки, которые легко поддаются добыче и обработке каменными орудиями. Шлиховые пробы нижнего слоя почвы и материка на дне раскопок выявили измелченные вкрапления железной руды, что позволяет сделать вывод не только о том, что жители древнего поселения добывали руду, но и получали из нее минеральную краску³.

Это же подтверждают и опыты по использованию мотыг и терочников, проведенные на поселениях, в совокупности с трасологическими данными. Куски гематит-лимонитовой руды, добытой из жилы с помощью каменных мотыг, подвергались дроблению и растиранию. Соответственно происходила либо деформация рабочего конца сколами и выбоинами, либо поверхность «сминалась» или затиралась. Масса, полученная при дроблении, получалась весьма неоднородной. Рациональнее всего было ее растереть на большой плите курантом значительного веса. С первых же минут работы на изделиях возникает локализованная стертость участка. Твердые угловатые частицы дробленого материала способствуют появлению на рабочей поверхности грубых

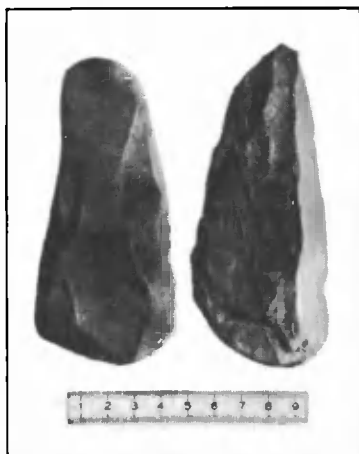
глубоких бороздок, делая ее как бы гофрированной. На экспериментальных орудиях при обработке руды остаются следы красного цвета различных оттенков. На древних терочниках, найденных в раскопах, также фиксируются следы красного цвета, что указывает на использование данных орудий для растирания именно железной руды.

Кроме того, стоит учесть, что навык ведения горного дела явился предпосылкой рудных разработок для добычи металла в последующий культурно-исторический период.

Орудий, которые можно было бы связать непосредственно с земледелием, в изученных памятниках этого периода не обнаружено. Весьма важен факт отсутствия на поселениях жавневных орудий, которые появляются в Приморье во II тысячелетии до н. э. Представлены они каменными шлифованными ножами. В этот же период появляются и более веские доказательства земледелия — находки обугленных зерен проса. При картографировании памятников, имеющих какие-либо свидетельства о наличии земледелия, четко выявляется локализация их в континентальных и прибрежных равнинных районах южного и юго-западного Приморья. На восточном и юго-восточном побережье края следы земледелия обнаружены лишь в памятниках середины I тысячелетия до н. э.

Из сопоставления современных физико-географических условий и палеогеографических данных следует, что каких-либо существенных изменений в экологической ситуации региона на протяжении голоцена не происходило. Климат Приморья входит в зону восточно-азиатских муссонов и определяется взаимодействием континентальных условий Евразии и водных пространств Тихого океана. На характеристике климата сказывается также меридиональное простираание Сихотэ-Алиня и довольно большая удаленность от моря. Последнее проявляется в температурном режиме и количестве выпадающих осадков: на побережье Японского моря количество осадков достигает 800—850 мм в год. Диапазон колебания среднегодовой тем-

³ Кононенко Н. А. — Сов. археология, 1982, № 2, с. 214.



Каменные мотыги, найденные на поселении Валентин-перешеек, служившие инструментами для добычи окисленной железной руды.



Экспериментальная каменная мотыга в рукоятке, использованная для добычи окисленной железной руды.

пературы — от 3,3 до 5,5°. Из основных термических максимумов в голоцене на Дальнем Востоке прослеживается бореальный (8990—8300 лет назад) и позднеатлантический (6000—4600 лет назад). Позднеатлантический период рассматривается как климатический оптимум Северной Евразии. Среднегодовые температуры климатического оптимума в Приморье были выше современных на 3—5°⁴.

В спектрах древней пыльцы, взятой на уровне моря, преобладает пыльца термофильных — широколиственных — пород. Количество пыльцы этих же пород в современных пробах в 3—4 раза меньше. Похолодание произошло на рубеже 2500—2200 лет назад, в результате чего сформировалась растительность, близкая к современной. Если в III тысячелетии до н. э. в Приморье преобладали широколиственные леса

из дуба, липы, клена, ясеня, вяза, граба, маньчжурского ореха, то во второй половине голоцена широколиственных лесов становится меньше, зато появляются ель, корейский кедр. Приморские племена III—II тысячелетия до н. э. жили, следовательно, в более мягком климате с теплым температурным режимом, более разнообразным богатым растительным и, надо полагать, животным миром.

Благоприятная экологическая обстановка на побережье обеспечивала широкие возможности для эксплуатации природных, в том числе рудных, богатств, в то время как особенности рельефа данного района малопригодны для возделывания культур. Вероятно, в этом — причина довольно позднего появления земледелия на побережье, что документируется археологическими материалами III—II тысячелетия до н. э.

Таким образом, исследование поселения, а также материалы других памятников, расположенных в прибрежной зоне восточного Приморья, позволяют сделать вывод, что основу экономики местных племен III—II тысячелетия до н. э. составляло комплексное хозяйство, основанное на охоте, рыболовстве и собирательстве. Помимо добычи и обработки продуктов питания (а юго-восточные склоны Сихотэ-Алиня и ныне богаты биомассой), в сферу производственно-хозяйственной деятельности обитателей поселения входили такие виды домашних про-

мыслов, как изготовление орудий труда и керамики, обработка дерева, выделка шкур, изготовление украшений, добыча и получение минеральной краски.

Наряду с развитием традиционных отраслей присваивающего типа прибрежные племена того периода начинают разводить домашних животных, о чем свидетельствуют находки костей свиньи и собаки⁵. Однако эта отрасль хозяйства не являлась ведущей.

Главное все же при анализе орудий труда, на наш взгляд, состоит во внимательном и кропотливом их изучении, позволяющем уточнить наше знание об экономике далекого прошлого.

⁴ Короткий А. М., Караулова Л. П., Пушкар В. С. Климат и колебания вертикальных ландшафтных зон Сихотэ-Алиня в голоцене. — В кн.: Геоморфология и четвертичная геология Дальнего Востока. Владивосток, 1976, с. 112.

⁵ Гарковик А. В. Новая группа памятников Восточного Приморья (III—II тыс. до н. э.). — В кн.: История, археология и этнография Дальнего Востока. Владивосток, 1967, с. 15.

В медвежьем углу Камчатки

Ю. С. Салин



Юрий Сергеевич Салин, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией слоистых структур Института тектоники и геофизики Дальневосточного научного центра АН СССР. Занимается проблемами стратиграфии, в том числе математическими методами решения стратиграфических задач. В «Природе» опубликовал статью: Судьба вернеровской «луковицы» (1983, № 1).

ЕДИНИЦЫ ШТАТНЫЕ И НЕШТАТНЫЕ

Геологическая карта на ЭВМ построена. А будет ли полученный результат устойчивым, насколько преобразуется карта после введения в обработку дополнительного материала, как будет расти объем вычислений и необходимой памяти? Когда сделан только первый шаг, формулы брать неоткуда. Единственный выход — эмпирический поиск, пробы и ошибки, пробы и снова пробы, пробы...

Решено — едем в поле, на усть-камчатский полигон, для описания новых разрезов, детализации старых... Магическое слово «поле», как поворот переключателя, мгновенно меняет тональность мыслей и разговоров, выражения лиц. Благообразный кабинет наполняется ароматом прошлогодних костров и кирзовых сапог. На рабочих столах вороха компьютерных распечаток вытесняются пачками складских накладных и требований, бланками актов, проектами смет и приказов.

Пока в отряде только два штатных сотрудника, геолога Вениамин Гилев и я. Веня — исследователь с опытом и стажем, надежный, как скала. Холодно, голодно, за шиворот льет и ноги не идут, все равно, прежде чем ответить на любой вопрос, он доброжелательно улыбнется, а уже потом скажет:

— Все в порядке. Конечно, дойдем...

Ни разу не видел у него на лице оттенков озлобления, не слышал в голосе ноток раздражения. Правда, за бородой Вениамина трудно разглядеть — есть ли там вообще лицо, а в голосе, густом и мягком, как у органа на нижних регистрах, тонут не только полутона, но и целые октавы. Его наблюдательность сделала бы честь естествоиспытателю-первопроходцу позапрошлого века. Идем в тумане, ни ветра, ни намек на ориентиры, давно позабыл, где там с утра был север, где юг, а Веня вдруг деликатно спрашивает:

— Здесь падения пластов обратные, или это ты решил назад повернуть?

С подозрением всматриваешься в выражение лица, но все безмятежно дружелюбно, как всегда. Или это туман скрывает?

— Да нет, с чего бы, тут выдержанные западные падения. Сейчас проверим, нет ли фациальных замещений и снова по маршруту двинем.

Его аналитические способности находят применение в любой ситуации. Лежим в палатке, дождь монотонным шорохом действует на нервы. Да когда же он кончится?

— Скоро кончится, — успокаивает Веня.

— ?

— Утром мне на голову капало по двадцать две капли в минуту, а сейчас только тринадцать.

Фигура у Вениамина компактная. Никто в отряде не мог просунуть руку в трехлитровую стеклянную банку, а Венья еще и достал оттуда в кулаке вареное яйцо. Зато торс у него, как у циркового борца, а точнее — как у бывшего гимнаста.

Короче говоря, как у полевого сотрудника, недостатков у Вениамина нет.

Долго разыскиваем себе нештатных помощников. Наконец, перед нами два студента-дорожника Политехнического института, оба отслужили в армии.

Коля Малашенко громоздкий, как комод, а улыбка у него еще шире плеч. Идеальные качества для соискателя нашей полевой должности. А он к тому же человек бывалый. Костер в дождь развести? — «Шесть секунд!» Кашу сварить? — «Шесть минут!» Постой — постой, не в автоклаве же, быстрее тридцати минут ее не сварить. Ах, да, Коля — рыбак и охотник, в его рассказах могут встретиться масштабные преобразования. Итак, вводим поправку пять к одному... Достанет все снасти и припасы, завалит нас рыбой и дичью, если там хоть что-то плавает, ползает, летает? Хорошо — хорошо, пять к одному, и то с голоду не помрем.

Володя Харченко устроен по принципу дополнительной к Коле. Так же много молчит, как Коля говорит, так же сдержан, как Коля инициативен, так же тонок, как Коля толст. Идеальная совместимость, их даже в одноместной палатке разместить можно, одного вдоль, другого поперек. Прекрасный коллектив подбирается.

Последний, правда, не вполне правильный член — тринадцатилетний Мишка, наследник. Беру его с собой, потому что обещал, для профорientации, чтобы собак не гонял, чтобы мир посмотрел и себя испытал.

БЕГ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Первые недоразумения начались в аэропорту. Вениамин появился только затем, чтобы принести извинения — лететь не может, не успел старый паспорт обменять на новый. Вернее, не успел не он, а домоуправление, но от этого не легче. Надо было предусмотреть.

У полевого сотрудника Гилева обнаруживается первый недостаток. Но это и меня минус — не зря за любые недоразумения обвиняют и непосредственного виновника, и его начальника. Думай за всех, иначе какой ты начальник.

Отряд таял на глазах. Не приехал к объявленному времени вылета Мишка — мама в спешке собирала последние вещи. К счастью, и вылет задержали. Когда, взвизгнув тормозами, у подъезда остановилось такси с неполноправным членом отряда и взмыленной мамой, посадка еще не закончилась. Но все равно, я заработал еще один минус — обязан был предусмотреть и как начальника, и как родителя.

На досмотре личных вещей теряю Колю. У нас на руках карабин, оформленный на мое имя по всем правилам, и старенький дробовик. Когда-то он тоже был моим вполне легальным охотничьим оружием. Но потом один срок переоформления я упустил, и ружье стало подпольным. Выручил Коля. Провернуть такие мелочи для него вообще дело шести секунд, у него знакомые в одной организации, друзья в другой, двоюродный брат... Короче говоря, из специальной боковой комнатки в зале досмотра меня отпустили через шесть секунд с пожеланием успеха, а Коля не появился ни через шесть минут, ни через двенадцать. Увы, недостатки оказались свойственными и бывалому нештатному таежнику, а мне в анкету идет еще один огромный минус — родного брата знаменитого охотника барона Мюнхгаузена не смог раскусить!

Улетаем троим — Володя, Мишка и я. Под крылом самолета — предмет страстной городской мечты, белоснежная и прекрасная Камчатка с величавыми вулканами, причудливо изрезанной береговой линией, змейками рек. Но сколько снега в конце июня даже здесь, на широте Петропавловска! А в нашем районе, еще в полтысяче километров севернее?

В Елизовском аэропорту Петропавловска — пересадка на местные линии. До Усть-Камчатска можно добраться за один час по воздуху или за двое суток по морю, к тому же ближайший рейс теплохода только через два дня. Что и говорить, мы предпочли Аэрофлот — «скорость, комфорт». К сожалению, эти блага оказались не для нас. Технический прогресс направлен против интересов экспедиционных отрядов. Если раньше на стареньком АН-2 можно было добраться до Усть-Камчатска со всем скарбом за пять часов с двумя посадками, то сейчас... У великолепного современного самолета местных линий ЯК-40 багажник едва вмещает портфели двадцати четырех командированных. Нам с нашими 300 кг мешков, тюков и ящиков предлагают лететь налегке, а вещи отправить отдельно. Будь у меня поменьше опыта, я бы, может,

и согласился. Но в позапрошлом году, прождав груз больше месяца, мы вынуждены были выпрашивать в поселке у сердобольных местных жителей у кого сапоги, у кого палатку, и все лето так бедствовали — горьковский Челкаш охотно принял бы нас в свою компанию. Дело мы сделали, но повторения подобных подвигов не захочешь.

И вот уже второй день мы наслаждаемся комфортом и надежностью океанского лайнера «Петропавловск», любимся мрачными скалами дикого безлюдного побережья. Впечатления разные. Володя с Мишкой видят только красоты, а у меня иной раз — мороз по коже от воспоминаний. Ходить под скальным обрывом в маршрут — сплошное приключение, особенно у непропусков — выступающих далеко в море мысов, где узкая полоска песчаного пляжа то и дело скрывается под белопенными валами. Проскочить на ту сторону мыса в промежутке между волнами или обходить поверху, штурмовать вертикальный обрыв, а потом долго и безуспешно искать спуск?

ПОЧТИ В ПОЛЕ

Все прибрежные камчатские поселки возникают перед взглядом морского путешественника одинаково. Под серым небом вырастает из воды лес подъемных кранов и труб, между покачивающимися на рейде элегантными «пассажирами» и неяркими громадами «грузовиков» появляются дома, цеха, кочегарки.

Берег Усть-Камчатка открытый, отменный, накатистый. Причалов не построишь, разгрузка рейдовая. К теплоходу швартуется плашкоут, пассажиры с багажом перегружаются на палубу или в трюм, и буксир на длинном тросе ведет баржу в реку, через мелководные бары, где водный поток притормаживает и река разгружается от надоевшей ноши, где речное течение схлестывается с океанским прибоем и в толчее волн нет никакого порядка — накрывает то спереди, то сзади, то слева, то справа, а то вдруг водяная гора поднимается посреди гладкой равнины прямо из-под килля.

В сотне метров от устья реки Камчатки в нее впадает слева протока из огромного горько-соленого озера Нерпичьего. Усть-Камчатск разрезан водой на три части: на правом берегу — бывший райцентр, ныне просто «деревня», на левом берегу между морем и протокой — рыбокомбинат, и за протокой — Варгановка и новый поселок.

Здесь все наоборот. Если в нормальных населенных пунктах в устьях рек во время прилива в реку поднимается соленая вода, а в отлив пресная вытесняет морскую, то в Усть-Камчатке жители с ведрами спешат к протоке в прилив: поднимающийся с моря соленый вал вытесняет речную воду, и та в свою очередь выталкивает горький рассол протоки назад в озеро.

Поселок переживает трудные времена. Исторически сложившийся жилой и производственный комплекс на морском берегу занимает место цунамиопасное, что подтверждается не только научными прогнозами. Каждый житель здесь может показать полузасыпанные черным песком, заросшие травой и кустарником фундаменты рыбозавода компании «Демби», уничтоженного катастрофической волной в 1922 г. Новый поселок — многоэтажные дома со всеми удобствами, причалы и цеха — строят теперь за протокой, где не опасны цунами. И если с передислокацией производства дело обстоит хоть и накладно, но без психологических трудностей, то с людьми сложнее, особенно со стариками. Дадут им прекрасную квартиру на мысе Погодном, а они не спешат трогаться с насиженного места, от дома, от огорода. Многие выбирают оптимальное решение — зимой живут в квартире, а летом в старом до-

За хребтами — хребты.

Непропуски — выступающие далеко в море мысы, где узкая полоса пляжа то и дело скрывается под белопенными волнами.



ме, как на даче. Не все сдаются, иные стойко держатся за привычное жилье, хотя и опасное для жизни, несмотря на закрытие больниц, школ, кинотеатров, магазинов, переведенных в новые районы.

Не успел плашкоут подойти к причалу речного вокзала, как из тумана выплыла безбрежная Колина улыбка, и вслед за ней, словно чеширский котик из сказки Льюиса Кэрролла, появился он сам. Без ружья, конечно. Обогнал нас на самолете. Теперь бы еще и Вениамин добрался. У Коли все прекрасно, все запросто, шесть: нет-нет, хватит, эту пластинку я уже наизусть выучил.

Ночуем в здании вокзала, а утром ни свет ни заря все уже на ногах. Оставляю Коле деньги и задание — закупить продукты, исходя из количества сотрудников, продолжительности сезона, ассортимента рыбооповских магазинов и собственных соображений о необходимости и роскоши. У меня заботы посложнее — как организовать заброску отряда вверх по реке.

ГЛАВНАЯ АРТЕРИЯ ПОЛУОСТРОВА

Усть-Камчатск — транспортный узел, перевалбаза для грузов, следующих с моря в глубь полуострова, и для встречного потока камчатской продукции — рыбы, леса. Множество речных судов водят плоты по реке, обслуживают рыбалки — забрасывают промснаряжение, продукты, а в обратный путь буксируют баржи, полные свежим, только что пойманным лососем.

В каюте пишу письмо Вениамину на Главпочтамт, до востребования, черчу схему, по какому маршруту искать наш лагерь. Ребята — катеристы — на обратном пути сбросят в почтовый ящик.

Камчатка — огромная река, но малоизвестная большинству жителей страны. В устье ширина ее больше километра, а длиной она почти 700 км; в большей своей части, особенно при высокой воде, в июне—июле, судоходна.

Главная фигура на реке — катерист. Фарватер капризен, речная служба не успевает менять обстановку — бакены и створы, а потому самые общительные капитаны оказываются и самыми безаварийными. С каждым встречным и поперечным побеседует шкипер о том, о сем, узнает между делом, где прошел, где застрял, где намыло, где промыло, поделится своей еще тепленькой информацией и так не спеша доберется до места. А тому, которому от излишней спешки некогда даже со старыми знакомыми поздороваться, приходится часами, а то и сутками, сидеть на мели. Конечно,

в беде здесь не бросят и торопливого. Глядишь, один речной работяга, мало — еще один, перебросили буксирные концы, тянут туда, сюда, моют винтами дно под бедолагой, сдернули, вывели на фарватер! Пришвартовались друг к другу, ткнулись в берег, не спешат. В каюте капитаны разговаривают «за жизнь».

У ЦЕЛИ

Выгружаемся на берег, и наконец-то мы в поле, предоставлены самим себе, ни от кого не зависим.

Надо хоть где-то устроиться на ночь. Половодье затопило пойму, террасы, сухими остались только крутые склоны сопки, но и там нет места для палаток.

Подходящую полянку находим в километре от реки в долине небольшого ручейка. День до вечера наполнен переброской груза (уже полтонны!), устройством хоть самого примитивного лагеря. Коля начинает подтверждать радужные городские предположения — везет, как трактор.

Следующие три дня рюкзаками перетаскиваем имущество в базовый лагерь. Маршрут недалекий — около десяти километров до точки на карте, выбранной еще в городе. Как это ни парадоксально звучит, но перетаскивать полтонны снаряжения и продуктов рюкзаками за десять километров — оптимальный вариант в наш век сплошной механизации. На вертолете процедура заняла бы не больше часа с погрузкой, выгрузкой и подбором площадки. Но ждать этого счастливого часа пришлось бы неделями. Мой личный рекорд — двадцать два дня. И вьючным транспортом, как два десятилетия назад, не доберешься — лошадь, по крайней мере ее камчатский подвид, давно пора заносить в «Красную книгу».

Кругом мелкосопочник, заросший таким густым ольховым и кедровым стлаником, что легче пройти километр кружным путем, чем сто метров напрямую по кустам. Но и обходы — отнюдь не шоссе: подъемы, перевалы, крутые спуски. Жарко от груза, жарко от подъемов, да еще солнышко печет, как в Ташкенте, печет, как ни в один из моих двадцати прошлых камчатских сезонов.

На перевале валимся с Мишкой пластом. А Коля с Володей где-то потерялись. Переводим дух и идем искать. Нашли быстро. Лежат бывалые таежники далеко внизу, тяжело дышат. Хотя по возрасту должны, вроде бы, и меня, и Мишку за пояс заткнуть.

Без отрыва от передислокации втягиваемся в полевой режим, знакомимся с обстановкой, подгоняем снаряжение, оцениваем, пока есть время, нехватки. А они обнаруживаются. Нет растительного масла и канистры, где его хранить, нет резинового клея и еще некоторых мелочей. Завтра Коле с Володей надо выбираться в Усть-Камчатск с каким-нибудь попутным катером, а мы с Мишкой пойдём в рекогносцировочный маршрут.

КАМЧАТСКИЕ ДЖУНГЛИ В ИЮЛЬСКИХ СНЕГАХ

То, что обнажения оказались под снегом, нас не удивило — насмотрелись во время перебазировки лагеря, наслушались о долгой зиме с многонедельными буранами от попутчиков по теплоходу, от катеристов.

Начинать здесь работу еще рано. Все равно все описанные сейчас разрезы, все пересечения слоев придется еще раз переписывать после таяния снегов. Лучше сначала изучить дальний угол. Пока доберемся, за три-четыре дня многие обнажения обтают, да и участок там не узловый, ему можно уделить худшую часть сезона, чтобы лучшую оставить на окрестности базового лагеря и берег реки Камчатки.

Вечером у лагерного костра еще издалека насчитываем три фигуры. Неужели Вениамин? Так и есть. В поселке, не успев он сойти с самолета и добраться до почты, как первыми усть-камчатскими встречными оказались Коля с Володей, только что вышедшие из магазина. Ну, теперь можно начинать работу без оглядки.

А Венья еще и угощает нас великолепным блюдом — свежим папоротником, который он нашел буквально в сотне метров от палаток. Вряд ли специалисты признают находку Вениамина ботаническим открытием, но для нас, отоцавших на колыной добыче, это настоящее гастрономическое откровение — настолько «папоротник погилевский» душист и питателен.

Выходим поутру. Дорога нелегкая. Правда, начало июля на широте Усть-Камчатск — месяц весны, и молодые побеги шеламайника, пырея и крапивы едва успели вылезти из-под земли. Через полмесяца их листва сомкнется высоко над головой. Сквозь сплошную стену зеленых стволов придется не идти — плыть брассом, раздвигая жесткие будилья, а еще через месяц полёгшие циклопические травы будут путаться под ногами, цепляясь мертвой хваткой за сапоги. Сейчас по зеленым лужайкам

идти приятно, как по аккуратно подстриженному газону. Но высокая вода скоро загоняет нас на склоны долин, приходится пробираться по косогорам, выискивая проходы между мрачно-зелеными массивами ольхового стланика. Через несколько часов не выдерживаем, спускаемся на затопленную террасу, долго бредем, ощупывая ногами неровное, кочковатое дно. Некуда даже сбросить рюкзак на привале, приходится устраиваться для отдыха по-птичьи — на ветвях подходящего дерева.

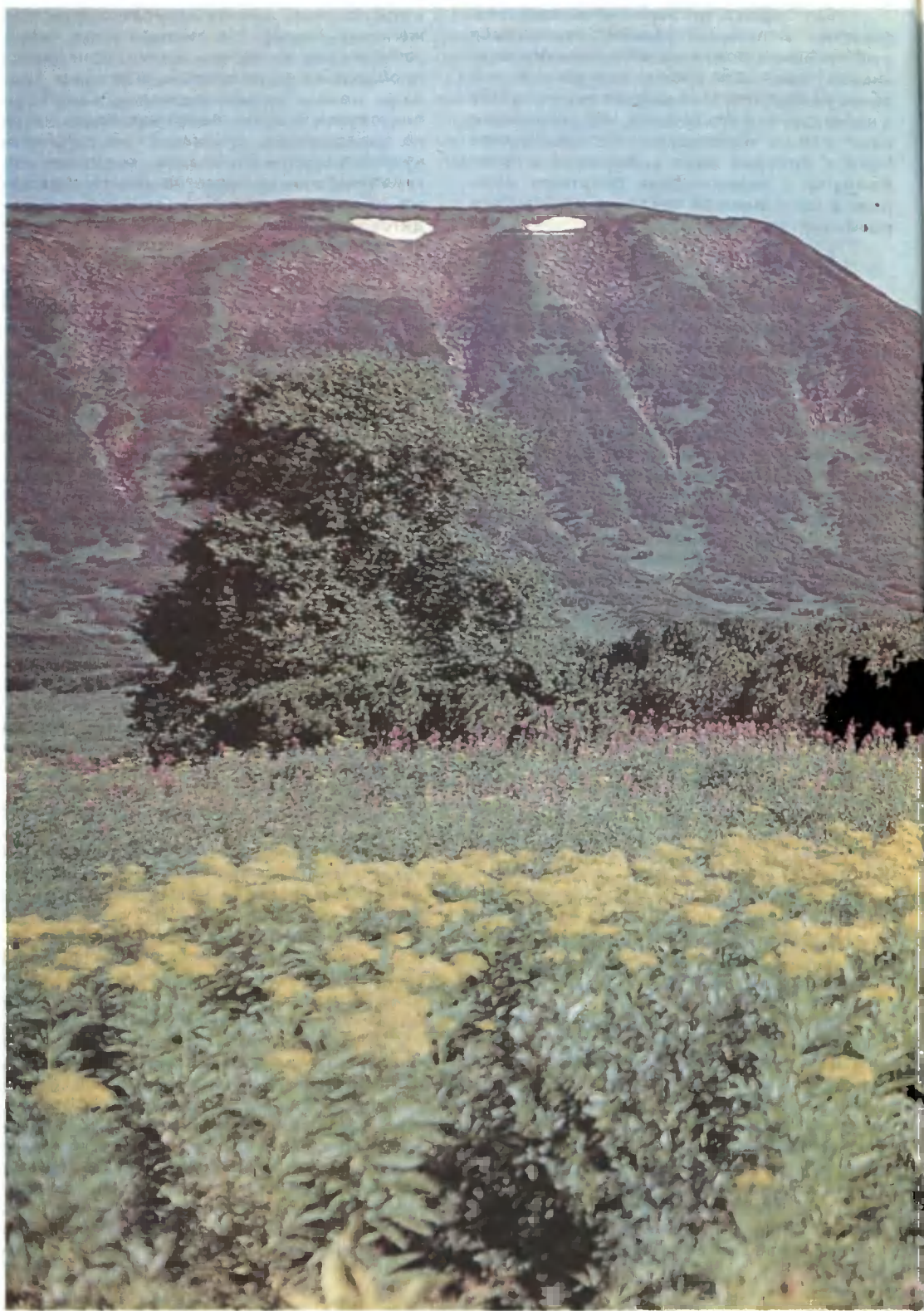
Целую неделю стоит ненормальная для Камчатки жаркая, ясная погода. Хорошо, что тут нет старожилов, они бы не упустили случая не упомянуть таких разливов. Реки ведут себя совсем как где-нибудь в Средней Азии. Вечером беснуются, выворачивая с корнем огромные тополя, мгновенно проглатывая целые блоки подмытых отвесных берегов, глухо рокочат гигантскими каменными жерновами, — сделай только шаг в мутный поток, тотчас тебя разотрет как в шаровой мельнице. К утру течение заметно успокаивается, перейти вброд на другой берег можно только в эти недолгие относительно спокойные часы.

ПРИРОДА И ЦИВИЛИЗАЦИЯ. ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ ЗДЕСЬ ВСЕ ТАК ЯСНО?

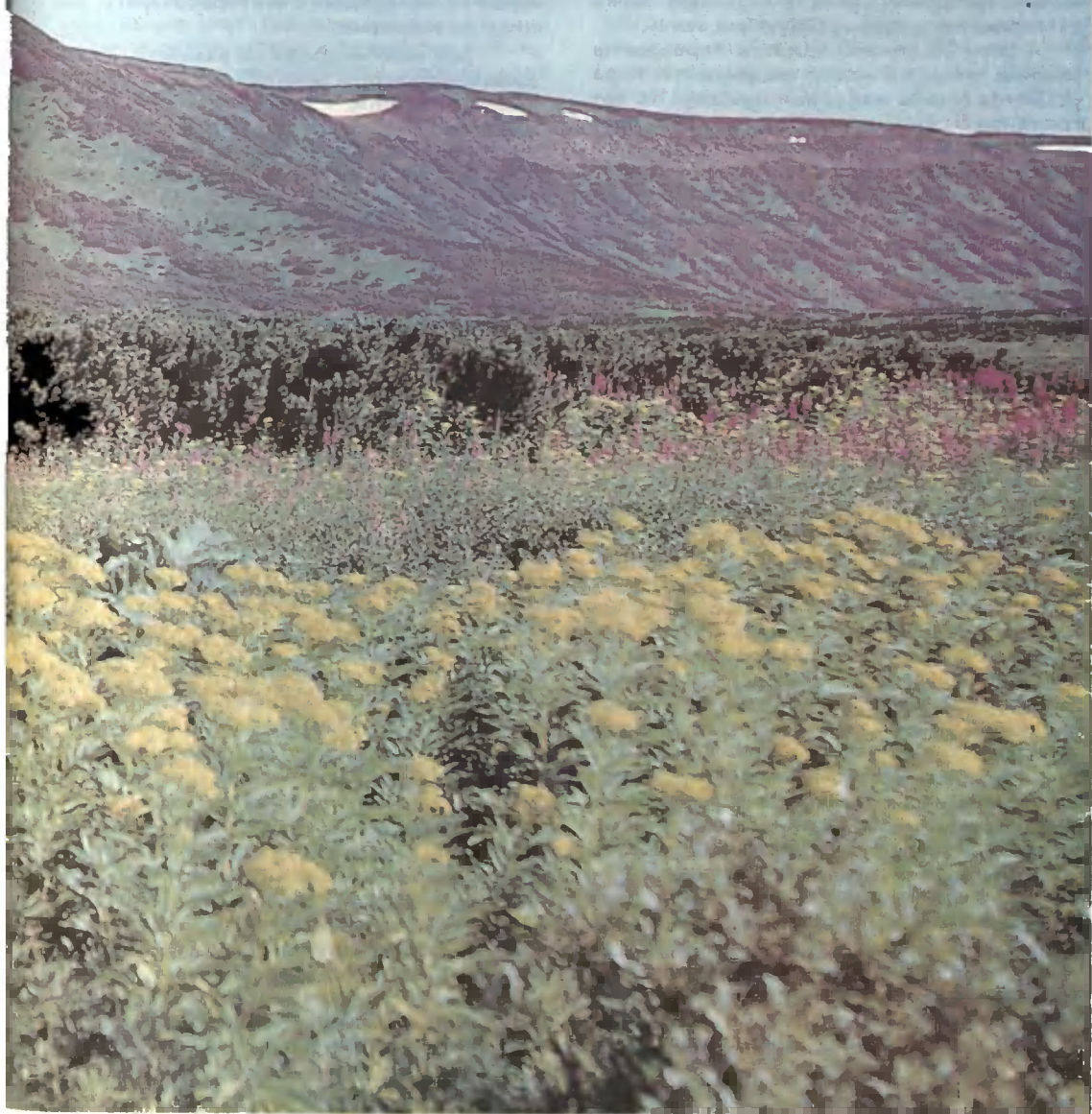
К дальнему участку — цели нашего похода — у меня особый интерес. Когда-то это был самый медвежий угол из всех известных мне камчатских затерянных миров. Как изменился он за прошедшие десятилетия? По всей планете природа отступает под натиском цивилизации, все это так, но неужели исконно русский царь зверей вымирает и здесь? Не хочется верить заранее, трудно расстаться с надеждой, хотя, понимаешь, и беспочвенной.

Долина реки — крупного притока Камчатки — вверх по течению становится уже, террасы — выше, по ним уже можно идти, наслаждаясь ровной, как стол, чистой, не заросшей и — самое главное! — сухой поверхностью. Старые, столетней давности, медвежьи тропы широки и утопаны, иногда даже нанесены на карту как проселочные дороги. Что это — память о безвозвратно ушедшем прошлом? Но нет — следов когтистых лап много, и старых, и совсем свежих. А где же сам Михаил Иванович, ну хоть маленький Мишутка?

За кустами поблизости слышится шум, как в бассейне на тренировке сприн-



Камчатские террасы.



теров-пловцов вольного стиля. Подкрадываемся, принимаем к зеленой амбразуре.

Рассекая воду, как глиссер, вприпрыжку, с рывканьем мчится мишка по нерестилищу, то и дело меняя курс. Наконец, последний, самый эффектный прыжок, и увесистый лосось прижат лапами ко дну. Он дергается, пытается вырваться, да разве уйдешь от медвежьих когтей? Мишка перехватывает добычу наугад одной лапой, другой, обеими сразу, превращая серебристую торпеду в отбивную котлету... Все, сопротивление окончено. Довольный, топыгин окунает голову до плеч, и с очередной порцией рыбного блюда в зубах отправляется на бережок. Урча и мурлыкая, косматый гастроном уплетает за обе щеки истекающую жиром сочную лососину.

Если он совсем недавно перешел на рыбный стол, на месте медвежьего пира остаются только жаберные крышки. Но вот голодное безразмерное брюхо набито почти до отказа — невкусными кажутся уже целые головы и хвосты. Сыт по горло добродушный обжора, а глаза все равно не сыты, и охотничий азарт не утолен, тащит и тащит медведь на берег свой богатый улов. Уже невозможно запихнуть хоть кусочек в прожорливую глотку, но как устоишь перед зрелищем дразнящего, щекочущего ноздри деликатесного изобилия? У каждой рыбины выгрызает Михаил Иванович заживок, и хоть отдавая лосося на научное исследование жирности и калорийности, хоть устраивая калибровку качества деталей рыбной туши методом экспертных оценок, все равно куска вкуснее не найдешь. Недаром камчатская рыбная промышленность делает первосортные консервы «Лососевое рагу» именно из этих частей лососевой тушки.

Чем дальше углубляемся мы в медвежий угол, где на небольшом клочке территории соседствуют нерестилища, ягодные тундры и горные склоны, богатые рябиной и кедровыми шишками, тем больше убеждаемся — нет, не стало медведя меньше.

Особенно остро мы это почувствовали, возвратившись вечером из маршрута и не досчитавшись одной палатки. Негостеприимный хозяин растоптал наше уютное жилище, оставив внушительные дактилоскопические отпечатки на выцветшем добела под знойным камчатским солнцем брезенте, порвал спальные мешки, расшвырял продукты и посуду, не польстившись, правда, на наш скудный съедобный ассортимент.

Но как смогло устоять медвежье по-

головье перед наступлением цивилизации? Объяснение простое: здесь идет противоположный процесс, природа отвоевывает некогда потерянное обратно.

Природа не пассивно присоединяет к своему царству территории, оставленные цивилизацией. Она способна и на агрессивные действия. Наша порванная палатка — явление совсем не уникальное.

На севере Камчатки по огромным пространствам горной тундры кочуют многотысячные олени табуны. На магистральных путях перекочков в узловых пунктах стоят неказистые избушки — продовольственные склады. Проходим однажды маршрутом мимо склада и издали видим какой-то непорядок. Заинтересовались, решили разобраться.

Все ясно — кража со взломом. Дверь выломана ударом мощной лапы, внутри — полный разгром. Рассыпан сахар, мука из разорванных мешков осела даже на потолок. На полу — растоптанные пачки сигарет и грузинского чая, разбитый в щепки ящик с галетами, россыпь сухофруктов. Кое-как приладили дверь, приперли ее бревном и ушли.

В маршруте через неделю двери на складе не нашли вообще. Исчезли галеты, поубавились сухофрукты, да и порядку в складе не прибавилось. Пастухи жалуются — запасы в лабазах невозможно теперь оставить даже в наглухо закрытых крышечкой железных бочках. Косматый хозяин начинает катать бочку, сбрасывать ее с обрыва, пока крышка не отвалится. Не обманывают косолапые своим сверкающим несъедобным видом банки сгущенного молока и тушенки, густо смазанные солидолом. Научился же он жевать целиком кедровую шишку, заглатывая питательные ядрышки вместе с шелухой. Желудок сам разберется, что переварить, а что пустить в отходы. Жестянки, правда, Михаил Иванович не заглатывает, выплевывает, но пастухам от этого не легче.

«ЗА ГЕОЛОГОМ НАДО ПОГЛЯДЫВАТЬ»

Описательная работа бессобытийна. Все идет по графику, как на конвейере. Единственное отличие — внешняя обстановка. И все же свой нынешний полевой сезон мы не оставили совсем беспроблемным. Геологическую карту, построенную на ЭВМ, мы наращиваем соседними участками. При этом нас интересует не столько конечный результат, сколько процедура построения. Как воплотить в однозначную последова-

тельность операций, в алгоритм традиционную методику геологических построений? То, что уже сделано, касается лишь обработки данных о последовательности слоев и признаков в разрезах. Осталась большая часть фактического материала, не использованная в нашем алгоритме — мощности, углы наклона слоев, направления их горизонтального простирания, наблюдаемая конфигурация геологических границ.

Говорят, выдумывать в геологии можно только по невежеству, на все случаи жизни написаны всеобъемлющие инструкции, методы там изложены хорошие, дело лишь за тем, чтобы освоить их и грамотно использовать. Так-то оно так...

Но откуда тогда берутся оговорки: «Методика дает хорошие результаты при условии осторожного и разумного использования», «при применении метода надо соблюдать большую осторожность», «возможны недоразумения, но вдумчивый анализ позволит выяснить наиболее вероятный их источник». Может быть, читатель и не найдет ничего странного в подобных высказываниях. Но попробуйте произнести: «Квадрат гипотенузы при осторожном и разумном использовании теоремы Пифагора может оказаться равным сумме квадратов катетов». Не звучит... Что здесь не так, становится более понятным из рекомендации, предостерегающей от формального, механического использования геологических методов.

Передовой фронт науки всегда оставляет за собой технологию, рутину, механически, формально выполняемые операции. Чтобы открыть законы тяготения, надо было иметь творческий гений Ньютона, чтобы воспользоваться ими, достаточно незаконченного среднего образования. В геологии же до сих пор нет ничего выполняемого механически, все имеющиеся методы должны применяться творчески, вдумчиво, осторожно, надо хорошо знать геологическое строение района, быть высококвалифицированным специалистом и еще многое другое.

И ведь с этим не поспоришь. Читая одни и те же инструкции, геологи, имеющие большую практику, разрабатывают каждый свою последовательность действий, систему приемов, формулировать которые не принято. Простейшие утверждения, за которыми в более строгих науках закрепилось и другое, уважительное наименование «фундаментальные», в геологии расцениваются как «прописные истины», не заслуживающие не только формулировки, но и упоминания. Не лучше ли заняться серьез-

ным делом? Вот и занимается геолог эволюцией, движением континентов, непрерывно-прерывистым развитием, а секрет, как ему удалось построить хорошую геологическую карту, умирает вместе в нем. И поэтому...

«За геологом надо поглядывать», — этот афоризм пущен в ход, кажется, профессором Ю. А. Ворониным. К сожалению, мы с Вениамином тоже многому научились еще тогда, когда относились к картированию как к искусству, и теперь исходные посылки наших же действий скрыты от нас за собственной черепной коробкой. Приходится поглядывать за самим собой, к своей голове относиться как к черному ящику: я не знаю, почему я делаю так, но раз я поступил именно так, а не иначе, не могли ли я по видимым мне результатам восстановить побудительные мотивы? Вот так-то в геологии...

НАЦИОНАЛЬНОЕ ДОСТОЯНИЕ

Отработан медвежий угол и основной район вокруг базового лагеря. Растаял почти весь снег, упал уровень воды в реках. Можно перебираться снова к главной артерии полуострова.

Вышел из-под воды бичевник — береговая полоса, по которой когда-то бурлаки бичевой тянули баржи. На Камчатке это — почти сплошная мостовая из пологонаклонных плит. Один из лучших разрезов в районе.

Работа лежащая, по пластам не идешь, а ползешь, вглядываясь в каждую песчинку, каждый мельчайший окаменелый остаток древней морской фауны.

Мимо то и дело сплывают рыбаки с сетями. Ловят лосося, поднимающегося на нерест. Он идет под самой поверхностью, то и дело выпрыгивая в воздух от избытка энергии. Налитые жиром снаряды тяжело плюхаются в воду, и не успевают разойтись круги, поднятые одним разыгравшимся красавцем, как на том же месте ракетой взлетает вверх соперник, делает сальто и в фонтане брызг входит в воду хвостом вперед.

В трех километрах отсюда — рыбалка с весовой, кунгасом для приемки рыбы, жилым баракком, навесом для починки сетей, ремонта моторов. Подготовив снасти, выходит рыбак на тяжелой деревянной лодке вверх по течению к началу тони. Дальше — участок соседней бригады. Поставив руль-мотор на «малый вперед» и развернув судно носом к другому берегу, выметывает сеть, растягивая ее поперек реки.



Камчатская идиллия — медведь на «годном» пастбище.

Теперь начинается самый ответственный этап. Подрабатывая мотором, надо держать сеть все время натянутой, но не сдернуть ее на себя, не упустить к другому берегу, особенно на излучинах, где течение подмывает обрыв, крутит водовороты, накапливает и перемешивает всякий хлам, от целых стволов с корнями и ветками до рваных сапог и досок с гвоздями. Нельзя, чтобы сеть засборилась, нельзя, чтобы ее занесло на мель, и весь фарватер занимать ею тоже нельзя — иначе порвут винтами встречные катера. Надо наизусть знать весь подводный рельеф на своем участке, каждый ориентир на берегу и каждую корягу, замытую на мели еще с прошлого года. Да еще каждый день появляются новые мели, на них закориваются новые коряги. Попробуй предугадай, где намостит завтра, если сегодня прошел без помех. И ведь большая часть всякой дряни затаилась на дне, никак не проявляя себя на поверхности.

Ну вот, еще один поймался! Мотор выключен, фигура в лодке неестественно, напряженно перегнулась через борт, наплава сбился в кучу, то уплывают далеко вперед, то отстают. Замет пропал зря. Но это еще ничего, осталась бы целой сеть, а то может уйти на ремонт и день, и неделя, да и весь сезон, если новых снастей нет в запасе.

— Эй, иди сюда, помоги, — машет рукой.

Ничего себе, «иди»! Будто я Христос, шествующий по водам, аки посуху. До лодки метров сто воды с температурой отнюдь не сочинской и безмятежностью отнюдь не Бердского залива в Новосибирском Академгородке. Но ведь человек в беде! Сбросить робу — шесть секунд, но за это время лодку снесло далеко вниз. Обогнать ее по берегу — еще шесть секунд, а через восемнадцать секунд я уже влезаю через борт.

Лодку тормозит, тянет вниз что-то очень большое и тяжелое. В одиночку рыбак никак не может поднять это что-то. Упираясь ногами в борт, изо всех сил перебираем, подтаскиваем к борту перепутанную сеть. Я не успел узнать имя моего нового знакомого, не разглядел его лица, да и он завтра вряд ли меня признает. Не до церемоний. Не перевернуть бы лодку!

Груз медленно, по сантиметру подается, и вот где-то у днища лениво повернулось толстое, черное, свинцово-тяжелое корневище. Листвянка. Она и свежая-то сразу тонет, а полежавши на дне, не захочет всплывать даже в ртути. Подталкиваем, переворачиваем и так, и этак, но вся невообразимая черная каракатица уходит куда-то под киль. Надо перевести ее на другой борт вокруг всей лодки, и тогда...

Взрывает мотором быстходный катерок, внезапно вырвавшись из-за мыса. Рыбнадзор. Моего напарника они знают, а моя кричаще нездешняя фигура вызывает подозрение.

— Ваши документы!

Слава богу, хватило такта не отказы-



Саранка. Луковицы этого растения съедобны и для человека, и для медведя.



Цветет иван-чай.

рять. «Вот когда отвезете меня к моим брюкам, тогда и спрашивайте документы. Лучше тащить помогите», — отвечаю одними глазами. «Да-да, конечно», — на том же языке соглашается рыбнадзор. Пришвартован катер к нашей лодке, двое бывших штангистов (или борцов?) приходят на помощь. Но все бесполезно. Привязав корягу вместе с сеткой на буксир, рыбак садится за руль и, нутужно завывая мотором, тянет злополучный груз к рыбалке.

А я устраиваюсь на мягком кожаном сидении, и через шесть минут оказываюсь на траверзе своего покинутого рабочего места. Меня высаживают на самой удобной косе, и махнув рукой приветливо и устало, мчатся на полном ходу дальше. Документов не спрашивают. Геолог, и так все ясно. А накладки у каждого случаются. Работы много. Путина. Со своими рыбаками замучаешься, а еще браконьеры...

Нарушений хватает. Предельная длина сети — триста метров, но выметывают и полкилометра, и больше. Помехи судоходству, переловы. Начнет рыбак выбирать улов, с верхом нагружена лодка грузоподъемностью больше тонны, а сети наполовину еще за бортом. Что делать? Обрезает удачливый добытчик невыбранный конец, бросает его на якорь посередине реки, а возвратиться за припрятанным не всегда успевает.

Рыбы много. Особенно резко возросли заходы лосося в камчатские воды, уловы,

заработки рыбаков в последние годы, после введения в прибрежных морях двухсот-мильной экономической зоны. Я помню времена, когда через сплошные заграждения японских сетей на границе двенадцатимильной полосы на нерест прорывались только редкие счастливцы да недомерки, просочившиеся сквозь ячею. Теперь камчатский лосось стал таким же национальным достоянием, как колымское золото, тюменская нефть.

Веселее стала обстановка на нерестилищах, больше пищи для медведя, прочего камчатского звериного населения. И вообще настроение после нового свидания со старыми затерянными мирами — оптимистическое. Сосуществовать с цивилизацией природа может!

Гравиметрия — наука о силе тяжести

Н. П. Грушинский



Николай Пантелеймонович Грушинский, доктор физико-математических наук, профессор физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов — изучение гравитационного поля, фигуры и внутреннего строения Земли. Автор ряда учебников и монографий, в том числе: Теория фигуры Земли. М., 1976; Гравитационная разведка (в соавторстве с Н. Б. Сажинной). М., 1981; Основы гравиметрии. М., 1983.

Когда И. Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения, он — хотя и понимал его большое значение, но, наверное, не представлял всей широты его проявлений в природе и практической деятельности человека. Изящество этого закона и грандиозность вытекающих из него следствий поистине поразительны.

Великий Ньютон не смог постичь природу дальнего действия сил тяготения и после долгих исканий вынужден был сознаться в бессилии это сделать, бросив свою знаменитую фразу: «Теорий я не измышляю». Природу тяготения много позже объяснил геометрией пространства-времени А. Эйнштейн. Но оставив в стороне истолкование дальнего действия, мы видим, что закону Ньютона подчиняются и падение тел на Земле, и движение планет, астероидов, комет, и многие другие явления. Действительно, из элементарного выражения $F = G Mm/r^2$ для силы притяжения между двумя телами с массой m и M , находящимися на расстоянии r одно от другого ($G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ — гравитационная постоянная), последовательно, с логической неизбежностью, выводятся целые тома формул небесной механики и гравиметрии, о которой и пойдет речь в этой статье.

В узком смысле слова гравиметрия — наука об измерении силы тяжести на Зем-

ле. Однако этот термин, пожалуй, никогда не трактовали так узко. В него обычно включают все проявления тяготения и его следствия на Земле и в околоземном пространстве. Более того, в последнее время бурное развитие получила космическая гравиметрия, вбирающая в себя измерения тяготения и его проявлений на других планетах Солнечной системы с космических аппаратов.

Сила тяжести определяет общую форму земной поверхности, и большой раздел гравиметрии — теория фигуры Земли — посвящен этой проблеме. Притяжение Луны и Солнца обуславливает приливы и связанные с ними упругие деформации Земли, так что гравиметрия, изучая эти деформации, в конечном счете, исследует внутреннее строение Земли. Распределение масс в недрах Земли, вариации их плотностей непосредственно влияют и на величину притяжения на земной поверхности. На этом основаны гравитационные методы изучения внутреннего строения Земли, и в частности гравитационная разведка полезных ископаемых.

С началом эры космических полетов и появлением искусственных спутников Земли (ИСЗ) возник новый раздел теоретической гравиметрии — исследование неоднородностей гравитационного поля по наблюдаемым возмущениям в движении ИСЗ.

Наконец, само по себе измерение ускорения силы тяжести g с достигнутой сейчас точностью (около $10^{-9} \cdot g$) — тонкая задача, решаемая с использованием всего арсенала современного физического эксперимента.

Далее мы кратко обсудим все эти вопросы.

ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Землю приближенно можно считать шаром массы M , распределенной равномерно по концентрическим сферическим слоям. Гравитационное поле шара, как известно, изотропно и убывает по мере удаления от поверхности. Иными словами, если окружить такую шарообразную Землю концентрическими сферами всевозрастающего радиуса r , то в любой точке каждой из них сила притяжения единичной массы будет постоянной и численно равной ускорению свободного падения g . С увеличением r значение напряженности поля убывает как r^{-2} , а гравитационного потенциала — как r^{-1} .

Однако Земля вращается с постоянной скоростью, совершая один оборот за 24 ч. На экваторе ее линейная скорость составляет 465 м/с и центробежная сила имеет максимальное значение, а на полюсах она равна нулю. Вследствие этого земной шар в следующем приближении имеет форму, близкую к эллипсоиду вращения, сплюснутому около полюсов и вытянутому у экватора.

Поверхность этого эллипсоида всюду перпендикулярна направлению действия результирующей силы тяготения и центробежной силы, называемой силой тяжести. Ускорение силы тяжести в любой точке поверхности такой идеальной Земли называется нормальным и приближенно определяется в зависимости от широты места φ по формуле

$$g \approx g_0(1 + \beta \sin^2 \varphi), \quad (1)$$

где

$$\beta = (g_p - g_0)/g_0 = 2,5 \cdot R_e \omega^2 / g_0 - \alpha,$$

g_0 и g_p — значения этого ускорения на экваторе и полюсах соответственно, R_e и R_p — экваториальный и полярный «радиусы» (большая и малая полуоси эллипсоида), ω — угловая скорость вращения, $\alpha = (1 - R_p)/R_e$ — сжатие эллипсоида.

Эта формула в общем виде выведена еще в середине XVIII в. известным французским математиком и астрономом

А. Клеро и получила его имя. Такая формула с учетом поправочного члена и численными значениями коэффициентов называется нормальной формулой силы тяжести. С 1980 г. во всем мире пользуются нормальной формулой¹

$$g \approx 9,7803268 (1 + 0,0053024 \cdot \sin^2 \varphi - 0,0000059 \cdot \sin^2 2\varphi) \text{ м/с}^2. \quad (2)$$

По формуле (2) g увеличивается от экватора к полюсам на $5,2 \cdot 10^{-3} \cdot g_0$ за счет уменьшения центробежной силы и радиуса.

Но в действительности Земля — вовсе не идеальное тело с изотропным распределением массы, и, стало быть, реальная сила тяжести в конкретной точке отличается от значения, определяемого формулой (2). Разность Δg реального (полученного из измерений) значения g и вычисленного по формуле (2) называется аномалией силы тяжести. Величина аномалий достигает $5 \cdot 10^{-4} \cdot g$, т. е. примерно в десять раз меньше значений от экватора к полюсам. Но эти аномалии позволяют судить о распределении масс, иными словами, о внутреннем строении Земли.

Кроме изменения силы тяжести от экватора к полюсам и аномалий, характеризующих распределение масс внутри Земли, наблюдаются также изменения этой силы с высотой над поверхностью Земли. Но, пожалуй, самое интересное — это вариации силы тяжести со временем. Они, в свою очередь, делятся на периодические (связанные главным образом с изменением положения Земли относительно Луны и Солнца) и неперiodические (вызванные различными процессами в ее недрах). Величины таких изменений указаны в таблице.

Вариации ускорения силы тяжести Δg , м/с²

Среднее значение g	9,8
Изменение от полюса к экватору:	$5,2 \cdot 10^{-2}$
за счет центробежной составляющей	$3,4 \cdot 10^{-2}$
за счет изменения радиуса	$1,8 \cdot 10^{-2}$
Местные аномалии	$5 \cdot 10^{-3}$
Изменение с высотой (на 1 м)	$3 \cdot 10^{-6}$
Периодические изменения из-за движения Земли	$4 \cdot 10^{-6}$
Неперiodические изменения (за год)	$10^{-6} - 10^{-7}$

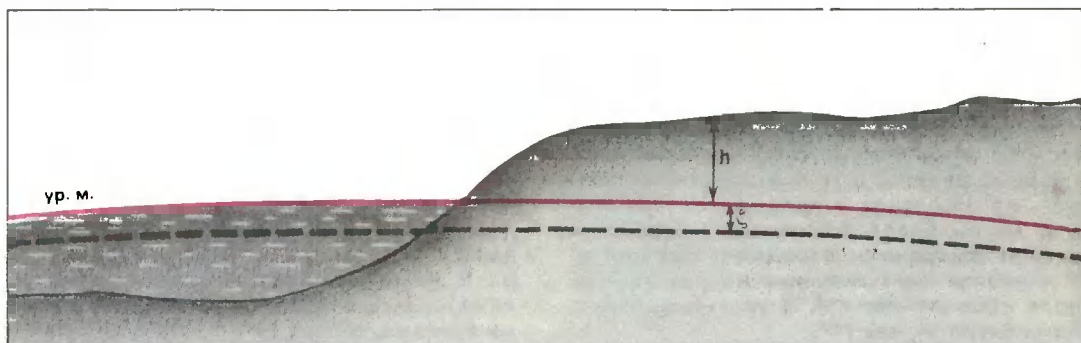
¹ В гравиметрии за единицу ускорения силы тяжести принята названная в честь великого итальянского физика и астронома Г. Галилея величина 1 гал = 10^{-2} м/с². Используются также более мелкие единицы 1 мгал = 10^{-5} м/с² и 1 мкгал = 10^{-8} м/с². Однако в этой статье все значения приведены в более привычных, хотя подчас и менее удобных единицах.

ФИГУРА ЗЕМЛИ

Этим термином в гравиметрии обозначают размеры и форму нашей планеты. Как отмечалось, при учете только вращения вокруг собственной оси Земля имеет форму двухосного эллипсоида и создает гравитационное поле, описываемое нормальной формулой (2). Однако реальная Земля, конечно, отличается от такой схематической модели. Еще в прошлом столетии договорились определять фигуру Земли эквипотенциальной поверхностью

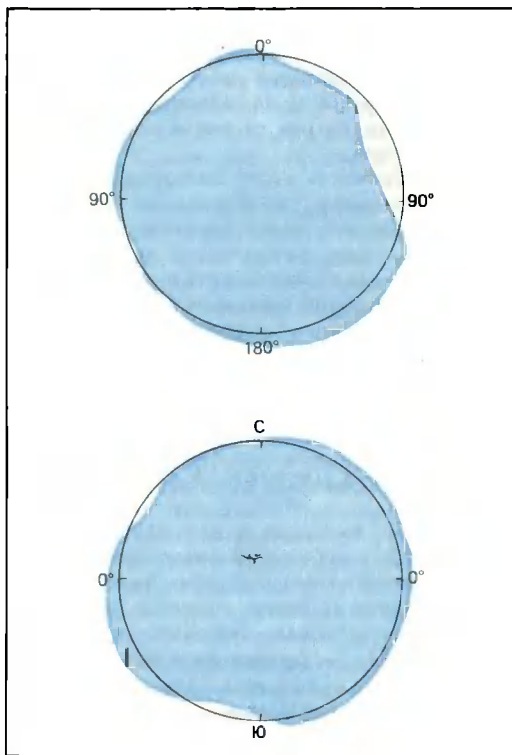
(перпендикулярной силовым линиям поля), совпадающей с поверхностью океана при отсутствии ветра и волн. Такая фигура получила название геоид. Отклонения ζ геоида от эллипсоида, называемые высотами геоида, вызваны неравномерностью распределения масс и, следовательно, связаны с аномалиями силы тяжести. В 1849 г. известный английский физик Д. Стокс вывел формулу, устанавливающую эту связь

$$\zeta = \frac{1}{4\pi g R} \cdot \int \Delta g \cdot S d\sigma \quad (3)$$



Схематическое изображение поверхности земного эллипсоида (пунктир), геоида (цветная линия) и реальной поверхности Земли. На схеме указаны отклонения геоида от поверхности эллипсоида (высоты геоида ζ) и высоты земной поверхности h относительно геоида.

Взаимное расположение геоида (показан цветом) и земного эллипсоида в сечениях по экватору при взгляде со стороны Северного полюса (вверху) и гринвичскому меридиану при взгляде со стороны Западного полушария (внизу). Высоты геоида на рисунке увеличены примерно в 4000 раз. В действительности они не превосходят 150 м, тогда как радиус Земли составляет в среднем 6378 км. Если рисунок выполнить в масштабе, отклонения геоида от эллипсоида можно будет разглядеть разве что в мощный микроскоп.



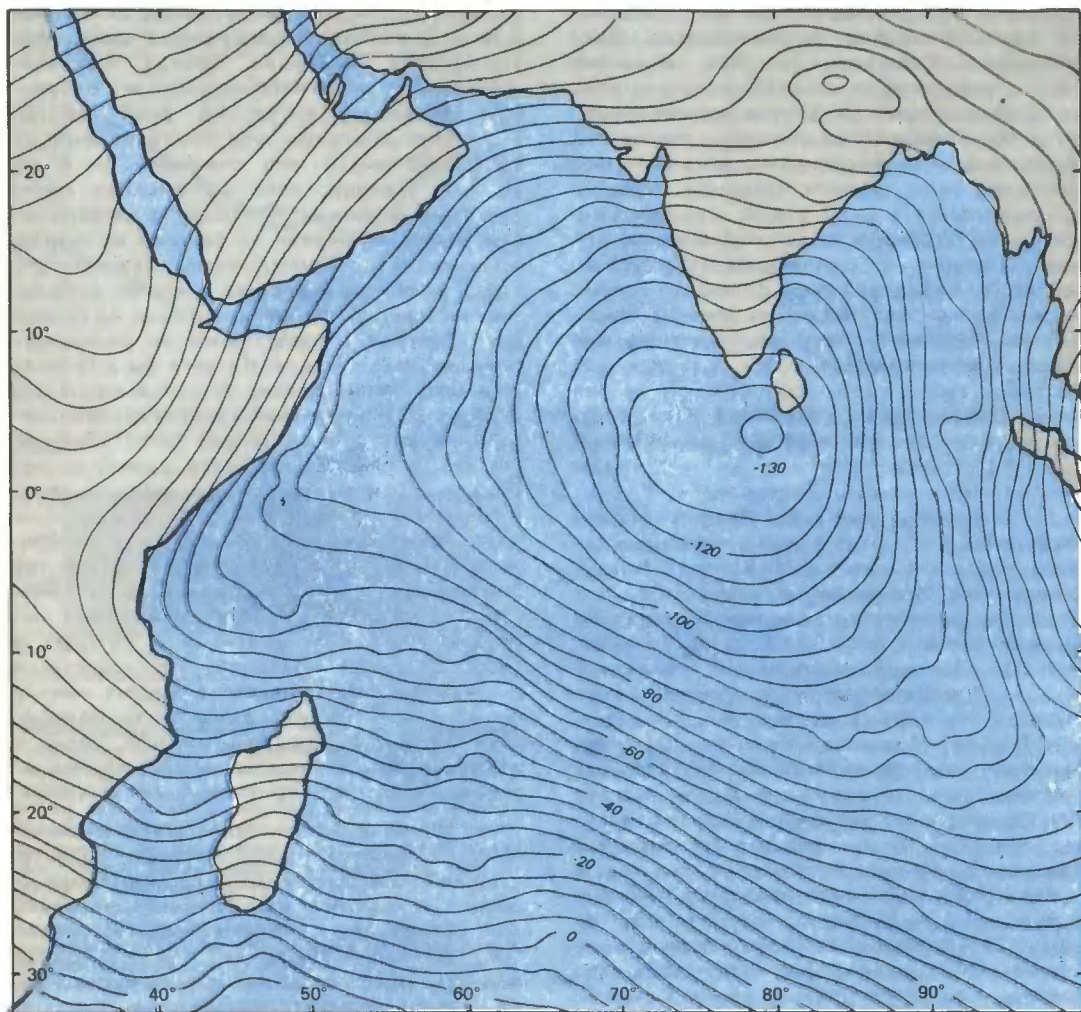
R — средний радиус Земли, S — так называемая функция Стокса, а интеграл берется по поверхности сферы σ .

В 1945 г. М. С. Молоденский уточнил выражение, полученное Д. Стоксом, и получил формулы в виде последовательных приближений, позволяющие найти высоты геоида с любой требуемой точностью, что решает задачу построения поверхности геоида.

Реальная поверхность Земли совпадает с поверхностью геоида на океанах, но, естественно, отличается от нее на кон-

тинентах, так что геоид воспроизводит Землю тоже схематически, хотя и намного точнее, чем эллипсоид. Чтобы точно определить истинную фигуру Земли, необходимо знать еще совокупность ее высот h относительно геоида на континентах. Этим занимается геодезия.

Отклонения ζ геоида от земного эллипсоида, как правило, незначительны, тем не менее они характеризуют неравномерности распределения плотности Земли и потому представляют для геофизики большой интерес. Очень важны они и для реше-



Карта высот геоида для северной части Индийского океана, построенная по аномалиям силы тяжести. Эта карта имеет разрешение $1^\circ \times 1^\circ$, т. е. на ней видны аномалии такого масштаба. Изолинии соединяют точки с равными значениями аномалий уско-

рения силы тяжести Δg . Числами на изолиниях показаны высоты геоида в метрах. В районе о-ва Шри-Ланка наблюдается абсолютный минимум высот (-130 м).

ния геодезических задач. Эти отклонения обычно указывают на специальных картах высот геоида, где изображаются линии разных значений ζ .

Пользуясь формулой Стокса или Молоденского, можно в принципе вычислить высоту геоида ζ в любой точке земной поверхности, однако для этого надо знать аномалии силы тяжести Δg на всей поверхности Земли. (Это связано с тем, что в формуле (3) поверхностный интеграл берется от произведения Δg и функции Стокса S , имеющей сложный вид и не убывающей при удалении от исследуемой точки.) К сожалению, в этом смысле Земля изучена крайне неравномерно. Так, Австралия, Северная Америка, а также Европа равномерно покрыты сетью гравиметрических пунктов, другие же континенты и Азия исследованы только частично. На океанах есть маршруты, вдоль которых аномалии силы тяжести известны хорошо, но расстояния между этими маршрутами составляют сотни и даже тысячи километров. Поэтому с одинаковой точностью построить геоид для всей Земли по гравиметрическим наблюдениям пока невозможно. На помощь приходят спутники, но об этом речь впереди.

АНОМАЛИИ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ, СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ И ГРАВИТАЦИОННАЯ РАЗВЕДКА

Итак, аномалии силы тяжести содержат информацию о высотах геоида ζ и распределении плотности внутри Земли. В первую очередь они позволяют судить о строении самого верхнего слоя — земной коры.

Земная кора находится в равновесном, или, как говорят, изостатическом состоянии. На первый взгляд, большие горные хребты, обладающие колоссальной избыточной массой, должны вызывать заметные положительные аномалии силы тяжести. Однако это не так, и в большинстве случаев аномалии значительно меньше ожидаемых. Следовательно, избыток масс в горах по меньшей мере частично компенсируется их недостатком внутри, под горами. Этот эффект получил название изостатической компенсации, или изостазии. Молодые горы (типа Альп) обычно изостатически некомпенсированы, тогда как древние, например Урал, уже «успели» приблизиться к состоянию равновесия. Таким образом, по аномалиям силы тяжести можно судить и о процессах в земной коре.

Земная кора имеет слоистое строение. Верхний ее слой — осадочный — имеет плотность $1,8\text{--}2,5 \text{ г/см}^3$, под ним расположен гранитный слой (его плотность $2,5\text{--}2,7 \text{ г/см}^3$), самый нижний слой — базальтовый — состоит из основных пород с плотностью $2,6\text{--}2,9 \text{ г/см}^3$. Между этим слоем и лежащей под ним верхней мантией наблюдается изменение скорости распространения упругих волн, соответствующее увеличению плотности до $3,3 \text{ г/см}^3$. Это так называемая зона Мохоровичича. Изменение плотности должно проявляться в аномалиях силы тяжести, и в самом деле, существуют определенные связи аномалий с глубиной погружения зоны Мохоровичича, имеющие, правда, корреляционный характер и наблюдаемые в отдельных регионах, а не на всей Земле.

Толщина коры под континентами от 20 до 70 км, а под океанами от 6 до 10 км. Однако, хотя на океанах плотная мантия ближе подходит к поверхности Земли, аномалии на океанах не всегда больше, чем на континентах. Зависимость здесь достаточно сложна и может использоваться лишь для интерполяции на границах областей с известными по сейсмическим данным толщинами хотя бы для редкой сети точек. В этих точках с помощью специальных уравнений удается связать толщину коры с аномалиями силы тяжести. По аномалиям силы тяжести можно вычислить расстояние до границы земной коры и верхней мантии. Если в некоторых точках расстояния измерены методом глубинного сейсмического зондирования и в тех же точках известны аномалии силы тяжести Δg , то между этими величинами нетрудно установить зависимость, которая, в свою очередь, позволяет по известным аномалиям силы тяжести в других местах интерполировать или даже экстраполировать значения толщины земной коры в районах, где результаты непосредственных сейсмических экспериментов отсутствуют.

На зависимости аномалий силы тяжести от плотности пород основана гравитационная разведка, широко применяемая на практике, особенно при поисках и разведке месторождений нефти и газа. Изучение этих аномалий позволяет выбрать район для последующих детальных поисковых работ другими геологическими или физическими методами.

Вообще гравитационная разведка используется для решения многих геологических задач:

оценки толщины земной коры и ее

изостатической уравновешенности, выделения крупных тектонических дислокаций; тектонического районирования и определения границ нефтегазоносных, угленосных и рудных провинций;

поисков и разведки рудных месторождений, а также антиклинальных структур и соляных куполов, перспективных в смысле нефтегазоносности и т. д.

С помощью гравиметрической съемки ведется поиск неантиклинальных ловушек и непосредственно нефтяных залежей.

Над антиклиналями сила тяжести име-

ет локальные максимумы, так как обычно в них залегают более плотные породы, а над соляными куполами — минимумы, ибо плотность соли меньше плотности окружающих пород. Если кристаллический фундамент под толщей осадочных пород однороден по составу, его рельеф довольно четко прослеживается в аномалиях силы тяжести.

Таким образом, гравитационная разведка позволяет определить форму границы раздела пластов разной плотности. В частности, с ее помощью были построены первые схемы рельефа и строения земной коры под ледяным куполом Антарктиды и установлено, что Антарктида — континент, а не архипелаг островов с общим ледяным покровом. Методами аэрогравиметрии удается обнаружить перспективные для разведки полезных ископаемых области в самых труднодоступных районах.

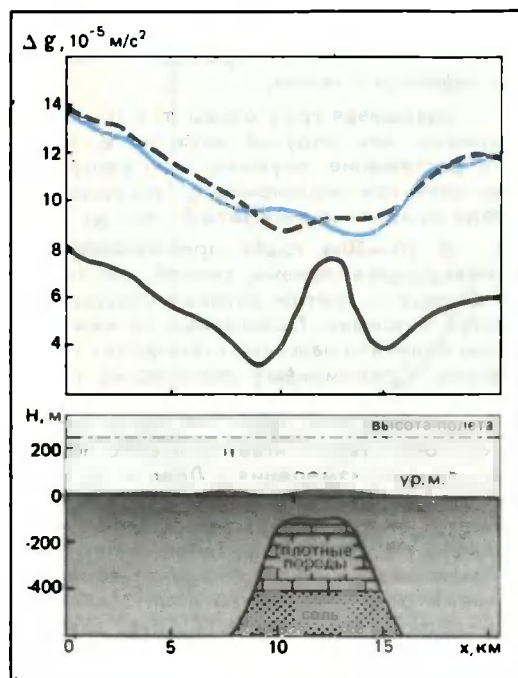
ИЗМЕНЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ СО ВРЕМЕНЕМ

До сих пор речь шла о пространственном распределении силы тяжести. Но, как уже упоминалось, она изменяется и во времени. На этом основана одна из интереснейших областей гравиметрии — изучение динамики земных недр.

Уже довольно давно наблюдались слабые колебания силы тяжести, связанные с изменением положения Земли относительно Луны и Солнца (так называемые приливные вариации). Они соответствуют периодическим колебаниям земной поверхности по мере того, как по ней пробегает приливная волна, имеющая максимальный подъем (достигающий 80 см) в местах, где вызывающее ее небесное тело находится в зените или надире. В результате, Земля как бы «дышит», но в силу малости и медленности перемещений мы этого «дыхания» не ощущаем и можем регистрировать его только очень чувствительной аппаратурой. Величина приливных вариаций силы тяжести позволяет судить об упругости Земли.

В последнее время в связи с ростом точности гравиметрических измерений становится актуальным изучение еще меньших неперiodических изменений силы тяжести, открывающих новые перспективы в исследовании динамики земных недр.

Как показывают теоретические оценки, вариации ускорения силы тяжести в ре-



Сопоставление результатов аэрогравиметрических и наземных измерений аномалий ускорения силы тяжести Δg (цветная и черная кривые соответственно) над соляным куполом, а также значений Δg , полученных в наземных измерениях и пересчитанных на высоту полета (пунктир). Вдоль горизонтальной оси отложено расстояние x от опорного пункта, вдоль нижней вертикальной оси — высота H относительно уровня моря. На графиках отчетливо виден минимум в значениях Δg (откладываемых по верхней вертикальной оси) над соляным куполом. Кривая, проведенная по результатам аэрогравиметрических измерений, хорошо воспроизводит «наземную» кривую, однако на ней исчезает локальный максимум, обусловленный лежащей над солью «шапкой» более плотных пород.

зультате изменения скорости вращения Земли вокруг собственной оси могут достигать $(3-6) \cdot 10^{-7} \text{ м/с}^2$, за счет глобальных перемещений воздушных масс в атмосфере — около 10^{-8} м/с^2 , из-за сезонных колебаний уровня мирового океана — до $6 \cdot 10^{-9} \text{ м/с}^2$. Возможные перестройки внутреннего строения Земли приводят к ничтожным отклонениям g на уровне $5 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2$ (для сравнения — гипотетическое смещение центра масс Земли всего на 3 см изменило бы значение g на 10^{-7} м/с^2 , а упругие деформации вследствие вертикальных сдвигов коры на несколько миллиметров — примерно на 10^{-8} м/с^2). И вот зарегистрированы такие эффекты становятся под силу современной аппаратуре! Интерпретация этих данных позволяет решать ряд задач геодинамики, связанных с движением полюсов и вызванным им изменением широты и долготы, неравномерностью вращения Земли, а также судить о процессах, происходящих внутри Земли.

Некоторые изменения силы тяжести во времени уже зарегистрированы экспериментально. Так, в Японии на п-ове Идзу за 4 года после землетрясения ускорение силы тяжести увеличилось на $(4-6) \times 10^{-7} \text{ м/с}^2$, а на п-ове Кии с 1972 по 1974 г. — примерно на $2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}^2$, или на $8 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$ в год. Вблизи Токио, на полуостровах Миура и Босо, обнаружено увеличение значения g на $2 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}^2$ в год, сопровождавшееся опусканием земной поверхности. В Мексике по измерениям 1949, 1955, 1967 и 1978 гг. установлено изменение g , достигавшее $6 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}^2$ в год. Общая его величина за этот период составила $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$. Прослеживается сильная корреляция изменений силы тяжести и высоты района исследований над уровнем моря, увеличившейся за это время в среднем на 1,5 м.

Выше говорилось о наблюдениях локальных вариаций силы тяжести со временем, связанных с подъемами и опусканиями местности или перемещением масс в результате тектонических процессов. Однако сейчас, когда точность измерений достигла 10^{-7} м/с^2 , или 10^{-8} , g , настало время обратиться к изучению долговременных изменений, вызванных глубинными динамическими процессами в мантии и земной коре, а также периодическими отклонений, обусловленных изменением скорости вращения Земли и сезонными циркуляциями воздушных масс в атмосфере. На наших глазах приоткрывается новая

страница в геодинاميке — науке о процессах в недрах Земли и зарождается новое направление — динамическая гравиметрия.

АППАРАТУРА И ТОЧНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЙ

Напряженность гравитационного поля, или ускорение силы тяжести g , находят одним из трех способов:

измеряя период $T=2\pi \cdot \sqrt{l/g}$ колебаний свободного маятника с длиной подвеса l ;

определяя путь $s=g \cdot t^2 / 2$, пройденный за промежуток времени t свободно падающим телом;

взвешивая груз массы m с помощью пружины или упругой нити, т. е. измеряя растяжение пружины или закручивание нити при изменении g , влекущем за собой изменение веса тела $P=m \cdot g$.

В 20—30-х годах преимущественно использовался первый способ, начиная с 40-х годов — третий, который совершенствуется и поныне. Основанные на нем приборы получили название статических гравиметров. Современные статические гравиметры позволяют измерить g с относительной точностью до 10^{-9} . Но столь высокая точность достигается именно при относительных измерениях. Дело в том, что эти гравиметры имеют один крупный недостаток — их показания меняются со временем вследствие изменения упругости пружины или нити. Поэтому статическим гравиметром можно с высокой точностью определить лишь разность силы тяжести между двумя точками, причем измерения в этих точках не должны разделять значительные промежутки времени.

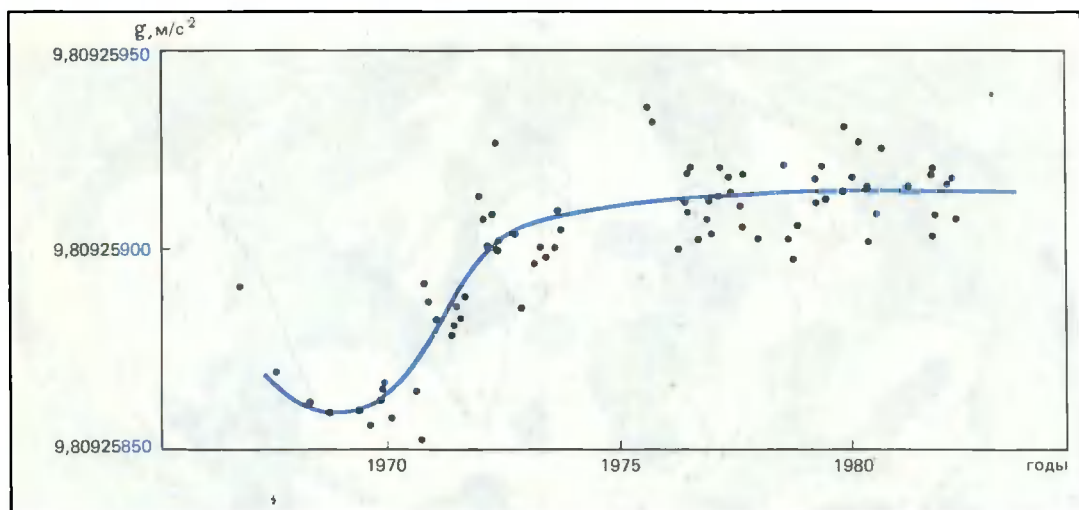
Для измерения абсолютного значения силы тяжести в наши дни применяют приборы, в которых используется второй способ, — баллистические гравиметры. Их точность достигает 10^{-7} м/с^2 . Однако и баллистические гравиметры не свободны от недостатков — они довольно громоздки, так что используются пока только на небольшом числе наземных (фундаментальных) станций. Тем не менее специалисты возлагают на баллистические гравиметры большие надежды, рассчитывая с их помощью в недалеком будущем значительно повысить точность абсолютных измерений.

Сенсацию произвели результаты измерений, выполненных с помощью баллистического гравиметра в группе А. Сакумы,

в Париже, которые свидетельствуют о систематическом изменении ускорения силы тяжести на $5 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}^2$ с 1968 по 1973 г. Однако в последующее десятилетие, наблюдая за семью баллистическими гравиметрами, ученые разных стран никаких изменений g не обнаружили. Причина изменения показаний гравиметров пока неясна, но авторы склонны считать это изменение реальным, а не погрешностью аппаратуры.

жет быть выше. А ведь полезный сигнал примерно в 10 тыс. раз меньше! Как же выделить его на фоне столь чудовищных помех?

Для гравиметра с горизонтально подвешенным на упругих нитях или пружинах рычагом горизонтальные ускорения практически не имеют значения. Чтобы система «не обращала внимания» на вертикальные возмущения, период ее собственных колебаний должен намного превосхо-



Результаты измерений ускорения силы тяжести в Париже. Точками изображены показания семи баллистических гравиметров, как непосредственно полученные на месте измерений, так и пересчитанные для этого географического пункта по измерениям в других местах. Как видно из рисунка, с 1967 г. по 1974 г. значение g изменилось примерно на $6 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}^2$. Причина такого изменения пока не ясна, тем более что за период с 1974 г. по 1983 г. никаких отклонений не наблюдалось. Средняя квадратичная погрешность каждого гравиметра составляет приблизительно 10^{-7} м/с^2 .

ИЗМЕРЕНИЯ НА ОКЕАНАХ И В ВОЗДУХЕ

Гравиметр, успешно применяющийся на суше, «бессилен» на зыбкой палубе корабля или на борту самолета. Действительно, если корабль качается на волне с периодом 10 с и амплитудой 15 см (типичные параметры морской качки), то возмущения составят около 10^{-1} м/с^2 , и, казалось бы, точность измерений не мо-

жет быть выше. При этом груз на упругом подвесе не успевает реагировать на короткопериодические колебания всей системы вместе с судном и отклоняется лишь при медленных изменениях g .

К настоящему времени на значительной части поверхности Мирового океана проведены гравиметрические измерения, однако, как отмечалось, распределение промеренных участков весьма неравномерно. Почти не изучена гравиметрически вся область Южного океана, примыкающая к Антарктиде. К тому же точность измерений на кораблях заметно ниже, чем на наземных станциях (характерные абсолютные значения средних квадратичных ошибок морских измерений составляют от $3 \cdot 10^{-5}$ до $6 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$, только в очень благоприятных условиях точность оказывается выше).

Еще сложнее выглядели гравиметрические измерения с самолетов. В самом деле, на море корабль все время движется по поверхности уровня, лишь колеб-

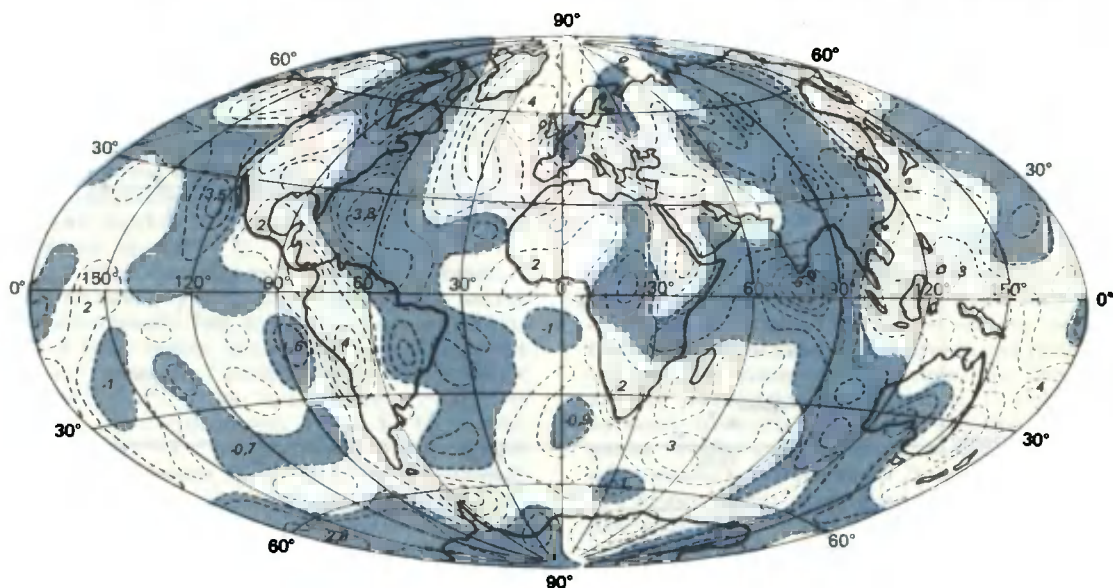
лясь с периодом и амплитудой качки. Самолет же помимо периодических может иметь и непериодические отклонения от заданной высоты полета. Возникающие в результате возмущения учесть гораздо труднее, чем при измерениях на корабле.

Высокая скорость самолета вызывает заметные изменения центробежной составляющей силы тяжести (так называемые поправки Этвеша). При движении по экватору со скоростью 600 км/ч в направлении вращения Земли они достигают $3 \cdot 10^{-2}$ м/с². Наконец, вследствие большой

ке, над которой находится самолет, а к точке, удаленной от нее на 10 км. Все эти трудности казались непреодолимыми, и долгое время точность измерений не превышала $5 \cdot 10^{-5}$ м/с².

Кроме того, при полетах на большой высоте регистрируемые аномалии сильно сглаживаются, и тем самым снижается разрешающая способность прибора, столь важная для геологоразведочных работ.

Однако аэрогравиметрическая разведка представлялась очень заманчивой — ведь она открывала перспективу исследо-



Одна из первых глобальных карт аномалий ускорения силы тяжести Δg , построенная по результатам наблюдений за искусственными спутниками Земли. Изолинии проведены через 10^{-4} м/с², числа соответствуют отклонениям (в этих единицах) значений ускорения силы тяжести от нормальных, вычисленных по формуле [2]. Области отрицательных аномалий отмечены цветом.

скорости движения измерения с самолета характеризуются значительным запаздыванием. Дело в том, что, как уже указывалось, упругая система гравиметра реагирует на изменение силы не мгновенно. Чтобы выделить полезный сигнал на фоне помех, период ее собственных колебаний должен быть во много раз больше возможного периода возмущений. Если собственный период равен, скажем, 60 с, самолет при скорости 600 км/ч пролетит за это время 10 км, т. е. показания прибора будут относиться не к той точ-

вания труднодоступных районов: безводных пустынь, заболоченной тайги, океанических шельфов, Антарктиды и т. д.

В последнее время обнадеживающие результаты получены во Всесоюзном научно-исследовательском институте геофизики Министерства геологии СССР и ряде других мест. Первые надежные и точные данные получены в США со специальным гравиметром, помещенным на инерциальной платформе, установленной на вертолете. Управление комплексом «гравиметр — платформа — вертолет» осуществляется электронной управляющей системой. Для определения высоты и положения относительно опорного пункта используются барометрический и радиолокационный альтиметры, а также спутниковая система навигации, связанная с автопилотом, который удерживает вертолет строго на определенной высоте, соответствующей постоянному давлению (среднее квадра-

тичное отклонение от нее не превышает нескольких сантиметров). Измерения проводятся на малой скорости (80—100 км/ч) и высоте (200—300 м) над поверхностью Земли. Поэтому упомянутые поправки Этвеша вносят погрешность не более $2 \cdot 10^{-6}$ м/с². Также умеренным оказывается запаздывание системы: от 0,8 до 1,5 км. Наконец, из-за небольшой высоты сглаживаются только совсем мелкие аномалии. Система снабжена также аппаратурой для учета горизонтальных ускорений и наклонов. Поскольку одновременно с напряженностью

при разных курсах вертолета, не превысила $4 \cdot 10^{-6}$ м/с². Таким образом, аэрогравиметрии удалось в итоге добиться результатов, вполне удовлетворяющих потребности практических геологоразведочных работ.

КОСМИЧЕСКАЯ ГРАВИМЕТРИЯ

Все точные геодезические работы требуют знания гравитационного поля Земли. Без этого нельзя определить сжатие земного эллипсоида, координаты опор-



Карта аномалий ускорения силы тяжести для видимой стороны Луны, составленная по результатам наблюдений за искусственными спутниками и пролетающими вблизи лунной поверхности космическими аппаратами. Аномалии отсчитываются от значений, соответствующих гравитационному полю сферической Луны с изотропно распределенной плотностью. Изолинии проведены через $4 \cdot 10^{-4}$ м/с². Значительные положительные аномалии связаны, скорее всего, с локальными концентрациями пород большей, чем в окружающих слоях, плотности, получившими название масконов. Области отрицательных аномалий отмечены цветом.

гравитационного поля регистрируется высота над поверхностью Земли, сразу же вычисляются все поправки, связанные с рельефом. Получается одновременно карта аномалий и топографическая карта исследуемого участка. Средняя квадратичная погрешность измерений с помощью такой системы, вычисленная по результатам повторных измерений в одних и тех же точках

ных пунктов, высоты земной поверхности относительно геоида и т. д.

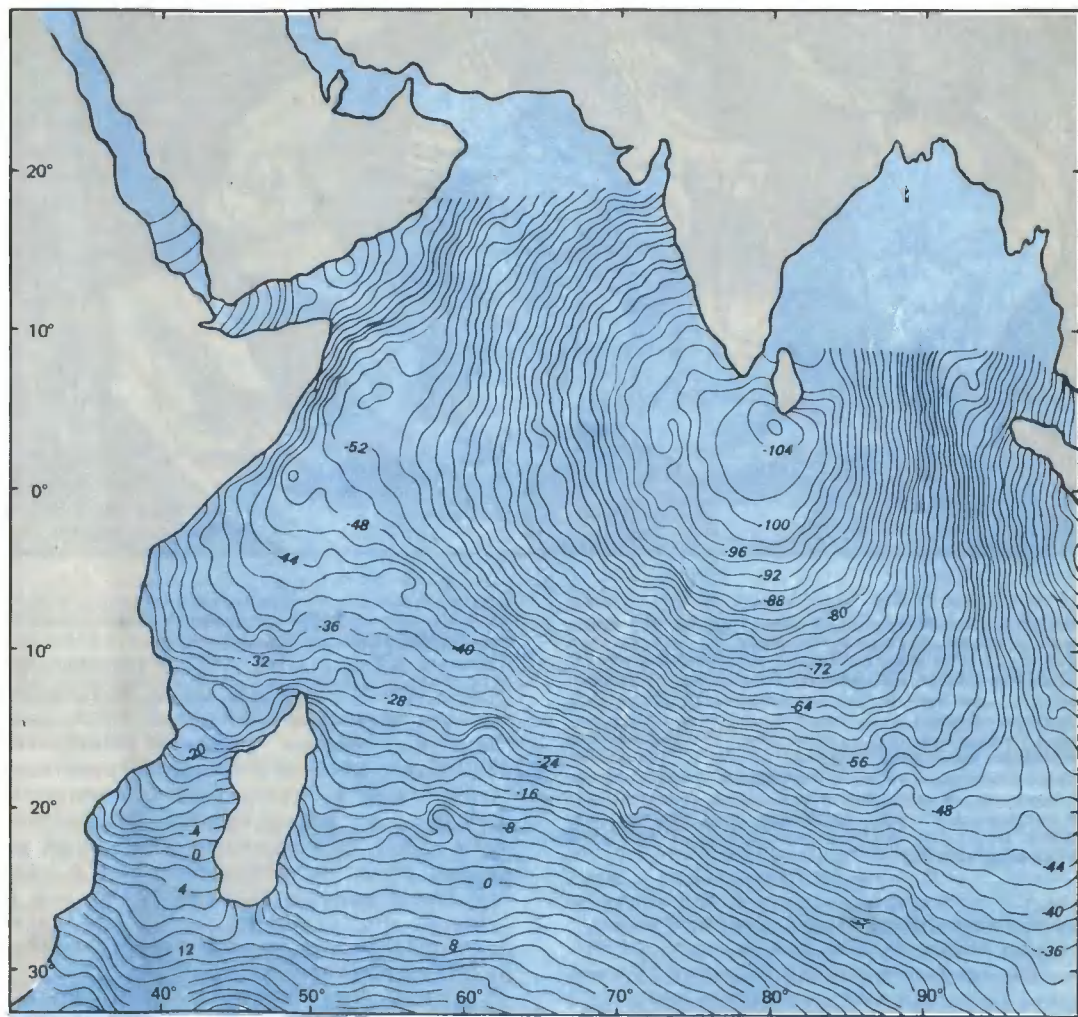
Появление искусственных спутников Земли (ИСЗ) открыло новые возможности для изучения этого поля. ИСЗ, двигаясь по законам небесной механики, испытывает влияние отклонений гравитационного поля от центрального, в котором орбита имеет форму эллипса. По отклонениям орбит ИСЗ от эллиптических уже на первых порах наблюдений данные о сжатии Земли удалось уточнить более, чем в 100 раз, по сравнению с тем, что давали геодезические или обычные гравиметрические измерения.

Космические полеты, в свою очередь, были бы невозможны без точного знания силы тяжести и ее аномалий, что позволяет рассчитать исходные данные для старта космического аппарата и отклонения его траектории от эллиптической.

Подробный анализ возмущений орбит дает распределение аномалий силы тяжести на всей поверхности Земли. Однако, поскольку ИСЗ находится на большой высоте, аномалии значительно сглаживаются. Современные гравиметрические карты, построенные по спутниковым данным, равносильны картам, полученным из наземных измерений при усреднении аномалий по участкам, размеры которых у экватора составляют 5° по широте и столько же по долготе. Зато эти карты воспроизводят всю поверхность Земли без «бе-

лых пятен». Проявляющиеся на таких картах аномалии, по-видимому, связаны с глубоко залегающими обширными неоднородностями плотности составляющих Землю пород, иными словами, могут отражать особенности строения как коры, так и верхней мантии.

Изучение гравитационного поля по наблюдениям ИСЗ не только позволило получить глобальную картину распределения аномалий силы тяжести на Земле, но и открыло возможности гравиметрического исследования Луны и планет Солнечной



Фрагмент карты высот геоида ζ для северной части Индийского океана, составленной по результатам альтиметрических наблюдений со спутника ГЕОС-3. На океанах этот метод позволяет получить значи-

тельно более точную и подробную информацию о геоиде, чем обычные гравиметрические измерения, но над сушей он неэффективен.

системы. Космические аппараты, проходящие вблизи планет, а также искусственные спутники «чувствуют» аномалии их гравитационных полей. Отклонения траекторий космических аппаратов от гиперболических или орбит искусственных спутников от эллиптических дают представления об этих аномалиях. Наиболее изучено на сегодняшний день гравитационное поле Луны в результате наблюдений за советскими искусственными спутниками «Луна-10, -12, -14, -19, -22», а также американскими «Лунар орбитер-1, -2, -3, -4, -5», «Эксплорер-35, -49» и космическими аппаратами «Аполлон-11, -12, -14, -17». Самые точные гравиметрические карты Луны соответствуют усреднению ее гравитационных аномалий по участкам со сторонами 10° .

Знание гравитационного поля планет очень важно, так как позволяет понять общие закономерности их внутреннего строения. До появления спутников гравитационное поле Луны и планет оценивалось по рельефу. Считалось, что рельеф обуславливает распределение аномалий, величина которых определялась по размерам гор или кратеров и предполагаемой плотности образующих их пород. Сейчас, когда такие аномалии измерены непосредственно, можно судить о том, насколько изостатически скомпенсирован рельеф этих небесных тел, что, в свою очередь, дает ключ к пониманию структуры их недр. В частности, по аномалиям силы тяжести, возмущающим орбиты искусственных спутников, на Луне были обнаружены значительные концентрации масс — так называемые масконы (от англ. mass concentration).

С помощью искусственных спутников и космических аппаратов гравиметрические исследования проводились также на Меркурии, Венере, Марсе, Юпитере и Сатурне. В результате этих наблюдений удалось установить численные значения нескольких первых коэффициентов разложения потенциала гравитационного поля в ряд по так называемым сферическим функциям². Для Луны на сегодня получе-

но подобное разложение до 16-го порядка, для Марса — 12-го, для Венеры и Юпитера — 6-го, для Сатурна — 4-го.

Эти работы имеют большое космологическое значение — знание гравитационного поля планет (в совокупности с другими физическими характеристиками) приближает нас к пониманию их внутреннего строения и, следовательно, механизма образования Солнечной системы.

Использование ИСЗ в качестве индикаторов аномалий гравитационного поля приводит, как уже отмечалось, к сглаживанию в измерениях его «тонкой структуры». Но возможности этого метода далеко не исчерпаны. Уже к настоящему времени удалось получить детальную информацию о высотах геоида с помощью спутниковой альтиметрии. Ее идея предельно проста: пролетая над океаном, спутник непрерывно измеряет радиоальтиметром расстояние до поверхности воды. Так как положение спутника на орбите и его проекции на поверхность земного эллипсоида известны с точностью до нескольких сантиметров, легко вычислить высоту поверхности океана относительно этого эллипсоида, т. е. найти высоты геоида, иными словами, определить «рельеф» поверхности океана.

Высоты геоида связаны с глубинным строением Земли, движением литосферных плит, но это уже тема другой статьи.

В заключение нельзя не отметить, что создание высокоточных баллистических гравиметров, аппаратуры для аэрогравиметрии и спутниковой альтиметрии радикально изменило возможности изучения геодинамических процессов, гравитационного поля, фигуры и внутреннего строения Земли, а также других планет Солнечной системы. Нет сомнения, что в недалеком будущем в гравиметрии — этой довольно древней и вполне классической науке, переживающей сейчас свою вторую молодость, — предстоят новые и неожиданные открытия.

² Отклонение гравитационного поля от сферически симметричного удобно представлять в виде разложения его потенциала в ряд по сферическим функциям — собственным функциям оператора Лапласа

$$\Delta = d^2/dx^2 + d^2/dy^2 + d^2/dz^2.$$

В сферической системе координат $x=r \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi$, $y=r \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi$, $z=r \cdot \cos \theta$. Каждый член такого ряда имеет свой коэффициент. Чем больше коэффициентов разложения известно, т. е. чем выше порядок раз-

ложения, тем детальнее оно описывает аномалии силы тяжести, иными словами, тем мельче участки, для которых выявляются аномалии, тем более «тонкую структуру» поля удастся воспроизвести. Так, разложение 36-го порядка соответствует разрешению $180^\circ:36=5^\circ$. Для гравитационного поля Земли уже существуют разложения 180-го порядка, которые позволяют описать аномалии на участках размером $1^\circ \times 1^\circ$.

След летящего насекомого

А. К. Бродский,
кандидат биологических наук

В. Д. Иванов

Ленинградский государственный
университет им. А. А. Жданова

Всех, кто изучает полет животных, всегда привлекала идея сделать видимым их след в воздухе — своеобразный итог динамического взаимодействия движущегося тела со средой. Однако долгое время исследователям не удавалось уви-

деть поток воздуха, возмущенный летящим животным, из-за методических трудностей. Они казались столь непреодолимыми, что исследователи старались упростить схему экспериментов, сознательно отказываясь от работы с живыми животными. Первыми, кто увидел след летящей птицы, были Н. В. Кокшайский и В. И. Петровский¹.

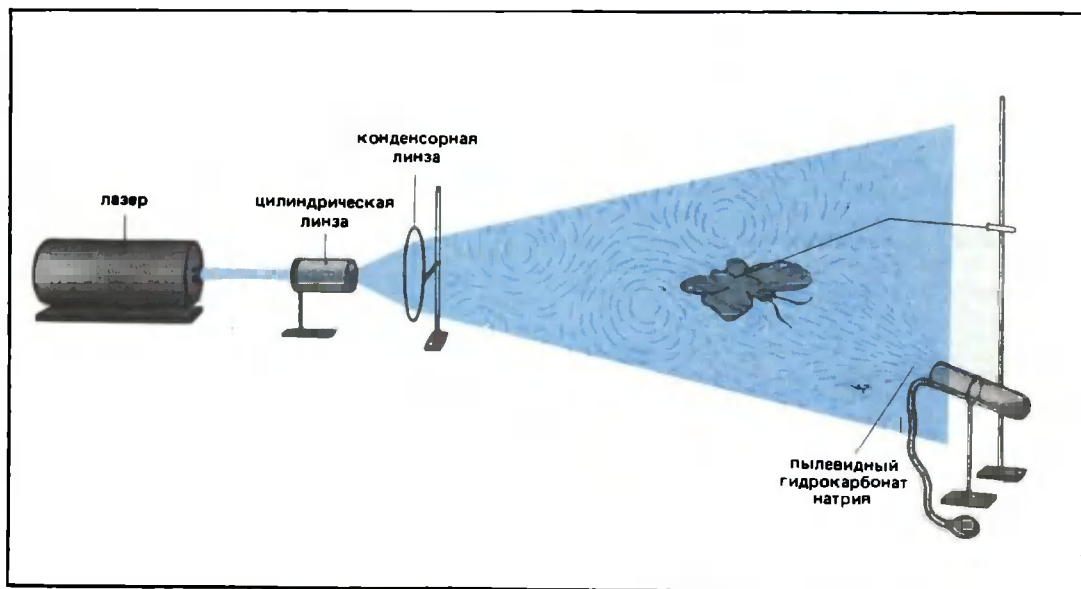
В значительной мере независимо и параллельно с изучением следа птиц велись работы и по визуализации аэродинамического следа насекомых. Первые картины, на которых удалось запечатлеть, как воздух обтекает тело насекомого, были получены на коллекционных

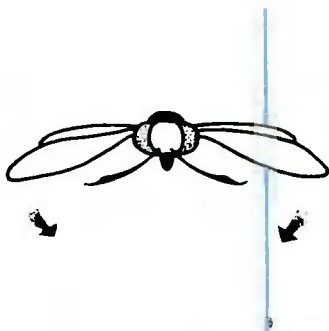
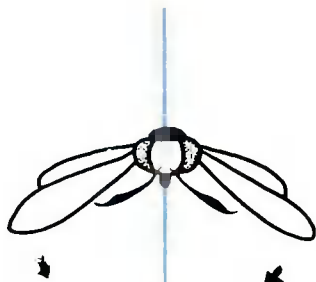
экземплярах. Их фиксировали в одной из поз, соответствующих естественному положению тела насекомых в той или иной фазе полета (планировании, махе крыльев вверх, вниз), и направляли на них струи дыма. Таким образом английские исследователи аэродинамики полета насекомых Л. Мартин и П. Карпентер сумели увидеть картину обтекания тела бабочек, находящихся в стадии планирования. К такому же методу визуализации прибегли и мы в 1974 г., когда изучали аэродинамическую обтекаемость тела различных видов насекомых². Естественно, что полученные формы струй дыма не имели ничего общего со следом летящего насекомого.

Схема опытов, в которых получены видимые картины воздушных потоков вокруг летящего насекомого.

¹ Кокшайский Н. В., Петровский В. И. След летящей птицы. — Природа, 1979, № 5, с. 100.

² Бродский А. К., Иванов В. П. — Вестн. Лен. ун-та, 1974, № 3, с. 16.





Направляя световую плоскость на разные части тела насекомого, на фотоснимке можно увидеть разные картины [экспозиция 1/500 с]. На рисунке с изображением насекомого здесь и далее стрелками показано направление движения крыльев в момент съемки, цветной линией — положение световой плоскости.



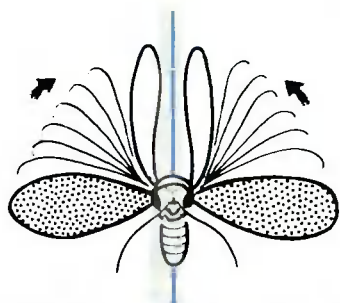
Помимо изучения обтекаемости тела насекомых, фиксированных в различных фазах полета, их след в воздухе пытались исследовать с помощью подвижных моделей, которые имитировали крылья. И хотя таким образом впервые удалось увидеть вихри, образующиеся во время взмаха крыльев, искусственные модели все же были весьма далеки от природных. Все следующие за этими экспериментами попытки увидеть воздушные струи, образующиеся за летящими насекомыми, были неудачными, результаты экспериментов не поддавались ин-

терпретации, а свидетельствовали лишь о несовершенстве используемых методов. Во всех аэродинамических опытах с насекомыми исследователи продолжали использовать дым, поскольку он казался наиболее удобным и естественным средством для того, чтобы увидеть измененные полетом потоки воздуха.

Только в 1979 г. английский исследователь полета насекомых Ч. Эллингтон применил вместо дыма тальк и увидел вихревое кольцо, отбрасываемое при первом взмахе крыльев бабочкой капустницей. Но и это

еще не была картина полного аэродинамического следа, который оставляет летящее насекомое.

С того времени как Н. В. Кокшайский и В. И. Петровский сумели зафиксировать след летящей птицы, можно было бы воспользоваться их опытом и нам. Но прямо перенести их приемы на изучение полета насекомых было нельзя, поскольку между ними и птицами есть большие различия. Во-первых, насекомые гораздо мельче птиц; во-вторых, частота взмаха крыльями у них выше; в-третьих, у большинства насекомых



Движение пылевидных частиц гидрокарбоната натрия на фотоснимке отражается в виде штрихов, длина которых зависит от времени экспозиции [данный снимок получен при экспозиции $1/30$ с, за время которой фиксируется несколько положений крыльев]. По таким снимкам можно точно установить направление движения воздушного потока.



Когда бабочка брюквеница сильно хлопает крыльями под брюшком, воздух из-под него выбрасывается через голову назад. В опыте использована фотовышка, экспозиция $1/500$ с.



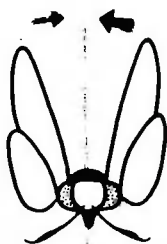
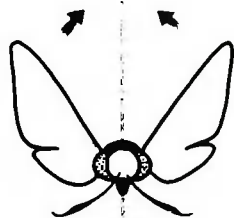
не два, а четыре крыла; и, наконец, в-четвертых, в поступательном горизонтальном полете обе фазы взмаха крыльями — опускание и подъем — у насекомых активны. Именно то, что аэродинамические силы создаются и при подъеме и при опускании крыльев, делает изучение полета насекомых особенно трудным. Вероятно поэтому в настоящее время наиболее изучена такая форма полета птиц и насекомых (некоторых стрекоз), при которой крылья активно взаимодействуют с воздухом только при махе вниз. Сейчас уже получены картины воздушного следа этой формы полета птиц,

а математические модели полета созданы и для птиц, и для насекомых.

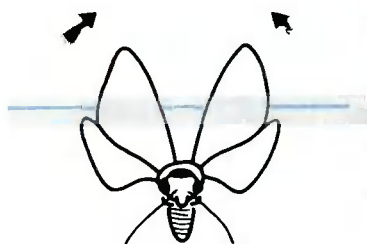
Однако подобного рода взаимодействие крыльев с воздухом из множества насекомых свойственно только разнокрылым стрекозам и называется зависающим, или трепещущим. В зависающем полете разнокрылые стрекозы, поднимая крылья, ориентируют их таким образом, что угол между крылом и струей воздуха приближается к нулю и, следовательно, взаимодействие крыльев с воздухом оказывается минимальным. Этот же тип полета у прочих насекомых осуществляется

по-иному. Во всем многообразии других типов полета крылья насекомых активно взаимодействуют с воздухом как при движении вниз, так и вверх. Ни один из таких типов полета не был изучен в экспериментах ни для птиц, ни для насекомых.

След летящего насекомого удалось зафиксировать на кафедре Энтомологии Ленинградского государственного университета. Чтобы увидеть обтекающий насекомое воздух, мы разработали специальный метод. В качестве материала, который позволил бы видеть, как взаимодействуют крылья с воздухом, т. е. какие следы остав-



Во время подъема крыльев в полете размер вихря, расположенного под вершиной брюшка бабочки толстоголовки, постепенно увеличивается. Вид сбоку, экспозиция 1/500 с.



Аэродинамический след летящей бабочки пяденицы. Вид сверху в луче лазера, экспозиция 1/500 с.

ляют работающие крылья, мы после испытания многих веществ остановились на пылевидном гидрокарбонате натрия. Для освещения экспериментального поля использовали луч лазера, которому при помощи несложной оптической системы придавали форму тонкой (около 1 мм) широкой (до 3 см) полосы; мы могли ориентировать луч как горизонтально, так и вертикально и перемещать его на любой интересующий нас участок тела насекомого.

В экспериментах мы использовали в основном насекомых, частота взмаха крыльями у которых была невелика, причем передние и задние пары крыльев двигались почти синхронно. Среди таких насекомых оказались веснянки, некоторые ручейники, сетчатокрылые и 3 вида бабочек — толстоголовка, пяденица и брюквенница. Бабочек, сидящих на столике, прикрепляли к установочной проволоке за основание брюшка, остальных насекомых — за перед-



неспинку. Как только из-под ног подопытных насекомых убрали опору, начинался полет. Навстречу насекомому подавали поток воздуха, содержащий пылевидный гидрокарбонат натрия, одновременно вели фотосъемку.

В зависимости от скорости движения пылевидных частиц гидрокарбоната натрия на фотоснимке видны были штрихи различной длины и интенсивности. Размеры штрихов можно было увеличить (увеличив длительность экспозиции), чтобы проследить движение отдельной частицы почти на всем ее пути — от момента контакта с крыльями и до вхождения в струю воздуха за телом насекомого. Однако анализ полученных фотоснимков не был прост из-за отсутствия точной «привязки» к определенной фазе взмаха, так как в одном кадре оказывались запечатленными аэродинамические картины, вызванные несколькими положениями крыльев.

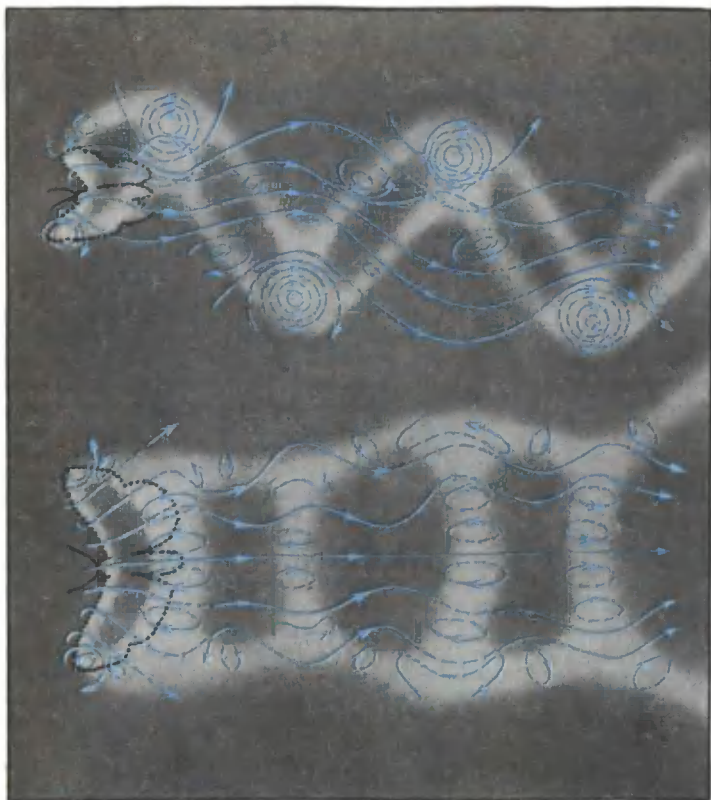
Кроме лазера для освещения экспериментального поля мы использовали фотовспышку (длительностью 1/500 с), с помощью которой удавалось получить трехмерные картины воздушного потока. Хотя эти картины было трудно анализировать, по сравнению с двумерными, которые давал лазерный луч, у них было преимущество: по «размазанным хвостам» частиц легко определялось направление их движения.

По фотографиям, на которых была зафиксирована серия «срезов» световой плоскостью пространства вокруг насекомого, можно было восстановить структуру аэродинамического следа летящего насекомого¹. Хотя такие изображения для каждого насекомого различались в деталях, но в них все же выявлялись черты, общие для большинства насекомых (по крайней мере, используемых в наших опытах).

Как же выглядит воздушный след насекомых?

Сбоку струя воздуха имеет зигзагообразную форму, вокруг нее в шахматном порядке располагаются вихри; сверху такая струя выглядит как серия попарно расположенных относительно центральной струи и вращающихся навстречу друг другу вихрей. Сверху или снизу в непосредственной близости от тела насекомого тоже вращаются вихри: при махе крыльями вниз он располагается на спинной стороне (спинной вихрь), при махе вверх — на брюшной (брюшной вихрь). Когда крылья опускаются, самый быстрый поток воздуха направлен назад между спинным вихрем и телом насекомого, когда крылья поднимаются, такой же поток существует между брюшным вихрем и телом. Вокруг передней кромки крыла вращается вихрь, его направление всегда противоположно направлению основных вихрей вокруг тела — спинному (при махе вниз) и брюшному (при махе вверх). Возле вершины крыла в любой фазе взмаха тоже существует небольшая

¹ Бродский А. К., Иванов В. Д. — Доклады АН СССР, 1983, т. 271, № 3, с. 742; Они же. — Зоол. ж., 1984, т. 63, № 2, с. 197.



Схематическое изображение аэродинамического следа летящего насекомого (вверху — вид сбоку, внизу — вид сверху). Воздушный след представляет собой цепочку вихревых колец, через оси которых проходит зигзагообразно изгибающаяся струя. Сплошные линии указывают направление воздушного потока, штриховые — сечения вихревых колец.

вихрь (концевой), который направляет воздух у поверхности крыла в сторону от тела насекомого. Особенно хорошо заметен такой вихрь, если смотреть на насекомое сверху.

Увиденные нами дискретные вихри представляют собой результат, который получается при сечении световой плоскостью вихревых колец, образующих в процессе взаимодействия крыльев с воздухом. В отверстии каждого такого вихревого кольца скорость потока под действием близлежащих вихре-

вых стенок должна сильно возрастать. Поскольку максимального значения скорость воздушного потока достигает между телом насекомого и близлежащим вихрем (спинным или брюшным), мы полагаем, что вокруг крыльев также вращается вихрь, парный, но противоположный по направлению спинному или брюшному в соответствующие моменты взмаха. Такое направление имеют вихри, вращающиеся у передней кромки крыла, что и позволяет нам рассматривать их как переднюю часть единого вихревого кольца, которое замыкается при участии концевых вихрей.

Итак, когда во время полета насекомое опускает крылья вниз, образуется вихревое кольцо; такое же кольцо рождается при махе крыльев вверх, но расположено оно иначе. В динамике весь процесс выглядит следующим образом. При движении крыльев вниз генерируются спинной вихрь и вихри вокруг крыльев, вместе они образуют

кольцо над телом насекомого. Когда насекомое разворачивает крылья в нижней точке траектории, кольцо перемещается назад; при этом циркуляция вокруг крыльев сворачивается в брюшной вихрь и одновременно начинают возникать новые вихри вокруг крыльев, противоположные прежним по знаку. Поскольку брюшной вихрь находится вблизи тела насекомого, он способствует возникновению вихрей вокруг крыльев. Так же как и концевые вихри, они существуют на протяжении цикла маха вверх и в верхней точке траектории сворачиваются в спинной вихрь. Образуется новое вихревое кольцо. Как брюшной, так и спинной вихри, по-видимому, представляют собой тормозной и одновременно разгонный вихри. Они задерживаются возле летящего насекомого и аккумулируют в себе ту вихревую пелену, которая при стационарных условиях полета должна была бы сходиться с крыльями.

Каждое старое вихревое кольцо связано с новым кольцом через вихри, сошедшие с крыльев. В результате след летящего насекомого состоит из цепочки вихревых колец, через оси которых проходит зигзагообразно изгибающаяся струя воздуха. Такую картину можно наблюдать, если паузы в верхней и нижней точке взмаха незначительны, но во время длительной паузы вихри, существующие вокруг крыльев, сходят в виде тормозного вихря и кольцо замыкается. А это приводит к разрыву непрерывного вихревого следа.

Предложенная нами модель аэродинамического следа летящего насекомого лишь качественно, в самом общем виде, описывает взаимодействие насекомого с обтекающим его потоком воздуха. Но даже в таком общем виде она позволяет провести количественный анализ аэродинамического следа — ведь скорость частиц, отброшенных крыльями, поддается учету. Наши эксперименты пока только создали основу для сравнительного изучения аэродинамического следа разных насекомых, но в будущем это поможет понять, как изменялся их полет в эволюции.

«НАИВЫСШАЯ МУЗЫКАЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ МЫСЛИ»

К 100-летию со дня рождения Нильса Бора

7 октября 1885 года родился Нильс Генрик Давид Бор — один из величайших физиков XX в. Его имя олицетворяет историю стремительного и триумфального проникновения физики в сокровенные тайны строения атома. Физика вторглась в новый мир, который поразил, озадачил и очаровал необычностью своих свойств и закономерностей. Это был мир квантовых процессов. Бор — основываясь на идее квантов М. Планка, представлениях о фотонах А. Эйнштейна и модели атома Э. Резерфорда — первым создал квантовую модель атома в 1913 г. «Атом, который построил Бор» выглядел весьма странным и парадоксальным — теория строилась в форме постулатов и порывала с рядом принципиальных положений классической физики. Работы Бора были встречены одними с радостью, другими — с явной неприязнью. «Незрелая помесь идей Планка со старой механикой», — отзывались о них приверженцы классических представлений. Но теория атома Бора открывала новые пути развития науки, она послужила базой революционного развития физики в познании глубинных структур материи. На ее основе был произведен синтез множества данных, накопленных спектроскопией, получила объяснение Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева, развинулись интенсивные исследования почти по всему фронту физического знания, связанного с изучением строения вещества и его взаимодействия с излучением. В 1923 г. Бор сформулировал количественно принцип соответствия, указывающий, когда именно существуют квантовые ограничения, а когда достаточно представлений классической физики.

Следующий период деятельности Бора непосредственно связан с разработкой основ квантовой механики как относительно целостной теории физических процессов атомного масштаба. Кульминационный период разработки этой теории падает на вторую половину 20-х годов нашего столетия. Бора обычно не упоминают среди создателей аппарата квантовой механики — в учебных пособиях называют имена В. Гейзенберга, М. Борна, П. Дирака, Э. Шредингера, В. Паули. Однако все эти ученые в ходе своих работ постоянно общались с Бором, находились под влиянием его физического мышления и, что особенно примечательно, находились под властью его понимания общей физической природы квантовых процессов.

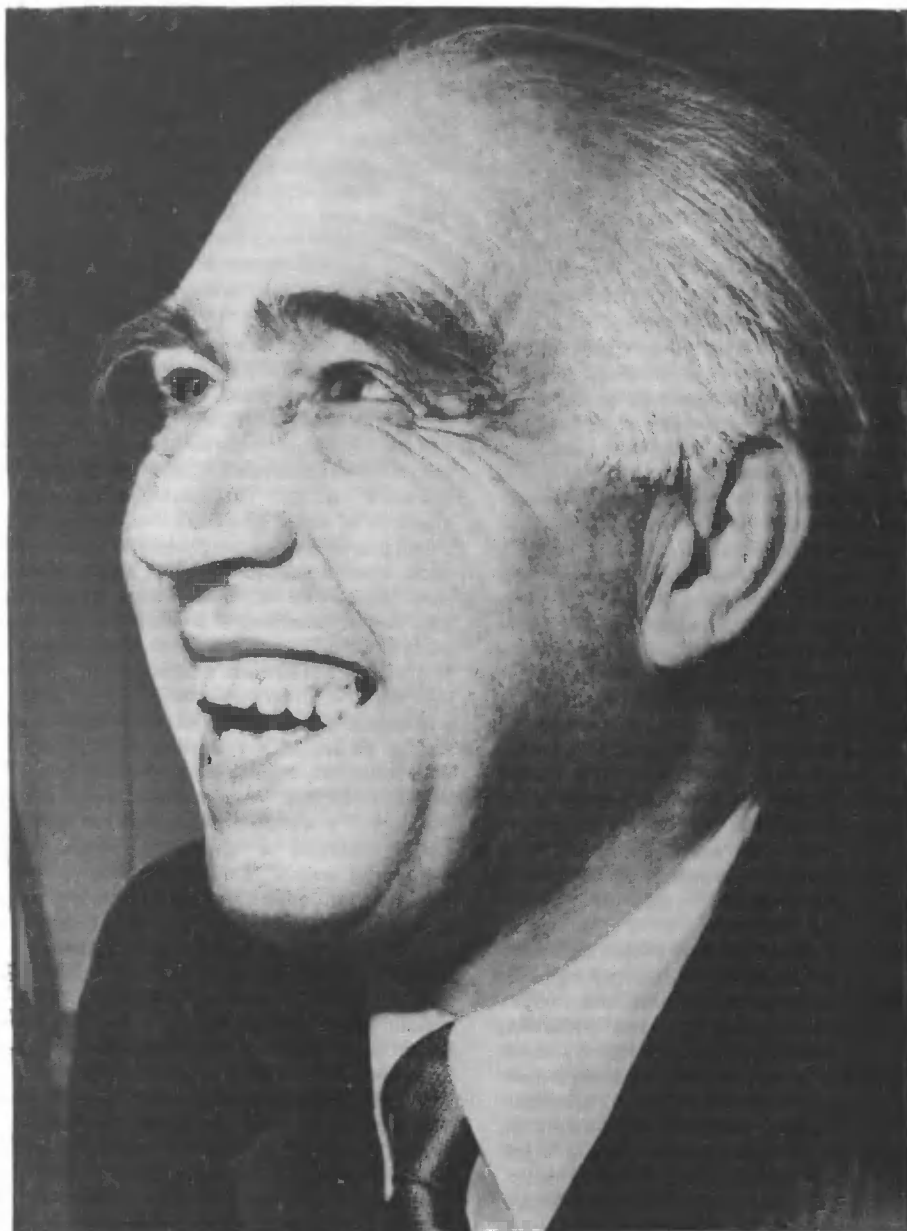
В 1927 г. Бор сформулировал важнейший для квантовой механики принцип дополнительности, в 1936 г. — создал фундаментальную для ядерной физики концепцию о механизме ядерных реакций (модель составного ядра), в 1939 г. — совместно с Дж. А. Уилером развил теорию деления ядер. В 40—50-х годах он занимался в основном проблемой взаимодействия элементарных частиц со средой.

Ученик Дж. Томсона и Э. Резерфорда, Бор сам создал крупнейшую интернациональную научную школу. П. Л. Капица в выступлении по случаю награждения его Международной золотой медалью Нильса Бора 21 декабря 1964 г. особенно подчеркнул, что Бор принадлежал к тем ученым, которые своим примером поднимали международное значение науки. Основанный им Институт теоретической физики в Копенгагене стал главным центром исследований по ядерной физике. Многие советские ученые учились, работали и воплощали там свои идеи. Много лет с Бором плодотворно сотрудничал Л. Д. Ландау. Бор считал, что научные достижения принадлежат всем народам. Он активно боролся против засекречивания работ по ядерной физике.

Когда началась война, Бор был вынужден покинуть оккупированную Данию. В это время начинается новый важный этап в его биографии — Бор становится активным борцом за свободу народов и мир во всем мире. Борьба за мир стала основной частью его общественной деятельности, еще более сблизила его с нашей страной, с нашими учеными.

Лауреат Нобелевской премии 1922 г., Бор в 1929 г. был избран иностранным членом АН СССР и неоднократно приезжал в нашу страну.

В этом номере «Природы» вниманию читателей предлагается статья У. Резеберга и Ю. В. Сачкова «На заре атомного века», в которой дается оценка философских взглядов Нильса Бора, прослеживаются основные этапы научной и общественной деятельности крупного ученого, одним из первых всецело посвятившего себя борьбе за мир. Фрагменты воспоминаний сподвижника Бора, одного из творцов физики XX в. В. Гейзенберга, рассказывают о событиях, поистине ставших «прорывом в новую землю». Некоторые отрывки из его книги «Часть и целое» уже публиковались в «Природе» (№ 3, 1972; № 4, 1973; № 9, 1974).



НИЛЬС БОР.
7.X 1885 — 18.XI 1962

На заре атомного века

У. Резеберг,

доктор философских наук

Центральный институт философии АН ГДР
Берлин

Ю. В. Сачков,

доктор философских наук

Институт философии АН СССР
Москва

На вторую половину 20-х годов нашего столетия выпали, наверное, самые решающие для формирования квантовой физики события. Построение Нильсом Бором квантовой модели атома открыло новый путь развития науки. «Это было героическое время,— вспоминал Р. Оппенгеймер.— Научные открытия не были плодом деятельности одной выдающейся личности, они потребовали сотрудничества десятков ученых из различных стран, и каждого из них вдохновлял, поддерживал, углублял и вел вперед всеобъемлющий критический дух Нильса Бора. Это были времена терпеливой работы в лаборатории, смелых экспериментов, множества ложных стартов и необоснованных предположений, времена споров, критики и блестящих математических импровизаций.

Для тех, кто принимал в этом участие, это были времена творения, исполненные ужаса и восторженного трепета перед совершаемым...»¹

Высокий темп развития учения об атоме и квантовых процессах быстро привел физику к исследованиям внутренней структуры ядра. Бор находился в гуще событий, связанных со становлением учения об атоме и ядерных превращениях. Он активно впитывал в свою память все новые экспериментальные данные о трансформациях ядер и указал на особое значение изотопа ^{235}U , делящегося под действием медленных нейтронов, что в дальнейшем привело к разворачиванию работ по овладению ядерной энергией.

Воздействие Бора на развитие физической мысли было весьма своеобразным — он смотрел как бы в корень

явлений. Его всегда интересовала собственно физическая сторона дела, физический смысл получаемых новых результатов, раскрыть который он стремился, не прибегая к сложной математике. Отмечая эти черты творческой деятельности Бора, физики особо выделяют «интуитивную хватку» и «дар предвидения». Способность Бора раскрыть закономерности в необозримом хаосе эмпирических данных об атомных явлениях А. Эйнштейн охарактеризовал как проявление «наивысшей музыкальности в области мысли».² Основу такого подхода составляло исключительное внимание и разносторонний анализ данных эксперимента, упорство и настойчивость в отыскании истины. Эрудиция и глубина мышления Бора обусловили и характер его участия в работах по Манхэттенскому атомному проекту, в которые он был включен сразу по прибытии в США во время второй мировой войны. Ему поручили проанализировать всю проделанную работу по атомному проекту, с тем чтобы убедиться, что ничего существенного не упущено. «Главной задачей отца,— вспоминает Оге Бор,— было изучать в деталях различные фазы работы, чтобы внести уверенность, что не пропущено что-либо важное. Следует помнить, в сколь большой степени все это дело основывалось на теоретических заключениях, которые еще требовалось доказать. Каждый жаждал услышать совет отца, и он активно участвовал в обсуждениях... не только физических процессов, на которых базировалось атомное оружие, но и технических конструкций».³

² Эйнштейн А. Собр. научн. тр. Т. IV, М., 1967, с. 275.

³ Цит. по: Кляус Е. М., Франкфурт У. И., Френк А. М. Нильс Бор, М., 1977, с. 150—151.

¹ Цит. по: Мур Р. Нильс Бор — человек и ученый. М., 1969, с. 188—189.

НОВАЯ ФИЗИКА И ПРОБЛЕМА ПОНИМАНИЯ

Все, кому приходилось работать вместе с Нильсом Бором, отмечали философский критический склад его ума. Однажды Бор, по свидетельству В. Паули, сказал, что «его интерес к физике является не столько интересом математика, сколько художника и философа»⁴. Широко известно также постоянное и неослабное внимание Бора к проблемам теории познания. Его интерес к философии был весьма целенаправлен — он был устремлен на достижение глубокого понимания квантовых идей и их широкого утверждения в интеллектуальной жизни общества. Бор был первым, кто ясно осознал, что разработка квантовой механики это не просто создание еще одной, пусть и исключительно важной физической теории, но и коренное преобразование самого образа физического мышления и его исходного языка. Диалектика процесса познания такова, что идя вперед в развитии знаний, мы должны многое менять и совершенствовать в самих основах наших воззрений. Разработка квантовой механики неумолимо требовала поиска нового физического видения мира. Рассматривая, уже во многом ретроспективно, свои дискуссии с Эйнштейном по проблемам теории познания в атомной физике, Бор писал (1949): «Главным предметом нашего спора с самого начала был вопрос о том, какую позицию следует занять по отношению к тем отклонениям от привычных принципов описания природы, которые характерны для новейшего развития физики»⁵.

В наше время уже достаточно широко признано, что квантовая теория представляет собой «плод человеческой мысли, который более всякого другого научного достижения углубил и расширил наше понимание мира»⁶. Поэтому история того, как формировалось понимание квантовых идей, является весьма поучительной. Развитие своего видения квантовых процессов Бор связывал с выдвижением идеи дополненности, во многом основывающейся на соотношении неопределенностей Гейзенберга. Идея дополненности была выдвинута Бором в докладах на Международном физическом конгрессе в Комо

(Италия, сентябрь 1927 г.) и на V Сольвеевском конгрессе в Брюсселе (октябрь 1927 г.). В обоих случаях доклад Бора назывался «Квантовый постулат и новейшее развитие атомной теории». В этих докладах, а также в ряде работ того же времени нашел свое выражение общий подход Бора к раскрытию существа квантовых явлений. Основные идеи квантовой теории носят постулативный характер. Последнее означает, что основные положения теории принимаются без логического доказательства, т. е. их содержание нельзя раскрыть на основе простого логического развертывания всего богатства идей и положений, которые заключены в предшествующих физических концепциях. Принципиально новое содержание требует и иных, более емких форм для своего выражения. «Всякое новое знание,— подчеркивал Бор,— является нам в оболочке старых понятий, приспособленной для объяснения прежнего опыта, и... всякая такая оболочка может оказаться слишком узкой для того, чтобы включить в себя новый опыт»⁷.

Принципиально новое в науке нельзя глубоко понять и объяснить с точки зрения прежних теоретических представлений. Из истории познания ясно, что, если мы будем настаивать на таком подходе, то приходим к отрицательной оценке самого этого нового. И в то же время новое в науке не принимается просто на веру. Оно требует особого и разностороннего обоснования, опирающегося на широкий философский подход. Соответственно этому Бор и основывал свое понимание квантовых явлений на анализе природы и общих закономерностей развития познания и человеческих действий. При этом Бор, конечно, не забывал исторических связей, наличия преемственности в развитии знаний. О последнем ясно говорит выдвинутый им принцип соответствия, который послужил своего рода «волшебной палочкой» в решении ряда задач, особенно на первых этапах разработки квантовой теории. Однако основное внимание в деле обоснования новых идей Бор уделял анализу разнообразных экспериментальных данных, их прямому соотношению с теоретическими положениями и выводами. Соответственно этому большое значение придавалось также анализу многочисленных мысленных экспериментов.

Для раскрытия содержания квантовой механики необходимо было выработать глубокое понимание ряда ее основных

⁴ Паули В. Физические очерки. М., 1975, с. 246.

⁵ Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М., 1961, с. 51—52.

⁶ Вайскопф В. Физика в двадцатом столетии. М., 1977, с. 34.

⁷ Бор Н. Цит. соч., с. 95.

положений. И прежде всего это касается трактовки так называемого корпускулярно-волнового дуализма квантовых процессов, который непосредственно связан с существованием квантовой величины — постоянной Планка — и является основной, ведущей специфической чертой квантовых процессов. Волновые и корпускулярные свойства были известны и классической физике, но там они относились к различным материальным образованиям. Некоторые объекты рассматривались исключительно как дискретные образования, как корпускулы, допускающие строгую пространственную локализацию. Другие же материальные процессы рассматривались как волновые, как происходящие в непрерывных средах и не имеющие строгой пространственной локализации. Квантовая теория породила задачу синтеза корпускулярных и волновых представлений при описании микрообъектов. И сразу же встал вопрос — как понять, объяснить эту важнейшую особенность микромира. Физики, воспитанные на классических традициях, стали выдвигать разнообразные механические модели для раскрытия существа этого нового феномена. Бор же выдвинул концепцию дополнительности, согласно исходным утверждениям которой волновые и корпускулярные свойства квантовых процессов следует рассматривать как равноправные, не сводимые друг к другу и одинаково необходимые для понимания этих процессов. Ее содержание раскрывалось с помощью различных примеров, аналогий, анализа решений задач. Общее понимание дополнительности непосредственно связано с диалектическим способом мышления, когда в раскрытии содержания материальных процессов ведущее значение приобретает оперирование противоположными категориями. Недаром Бор любил повторять: «Противоположности — это не противоречия, а дополнения». Именно к подобным категориям относятся категории дискретности и непрерывности⁸.

С трактовкой корпускулярно-волнового дуализма непосредственно связан и вопрос о статусе вероятности в квантовой теории. Согласно представлениям классической физики элементарные физические процессы — движение и взаимодействие атомов как мельчайших корпускул материи — должны подчиняться закономерностям, допускающим однозначное опре-

деление траектории их движения. Согласно же квантовой механике, элементарные физические процессы носят принципиально вероятностный характер, т. е. существенным, неустранимым образом включают в свою динамику неоднозначность и неопределенность, соответственно чему физический мир в самих своих основах содержит нечто неоднозначное, неопределенное, зыбкое. Именно этого не могли принять физики, воспитанные на классических традициях. В то же время Бор решительно отстаивал принципиальный, первичный характер вероятности в квантовой теории — вне вероятностных идей просто нет самой этой теории.

Исторически дискуссия о статусе вероятности в физике микромира выступала как «битва гигантов» — ее олицетворяли имена Альберта Эйнштейна и Нильса Бора. Эйнштейн не мог смириться с утверждениями квантовой механики, что элементарные процессы по своей природе носят неоднозначный и неопределенный характер. Он все время предлагал новые и новые мысленные физические эксперименты, которые, по его соображениям, должны были вскрыть недостаточность и неполноту вероятностной трактовки квантовых процессов. Напротив, Бор, при рассмотрении этих же примеров, показывал, что их квантовая трактовка неминуемо должна включать вероятностные элементы. Дискуссии между ними велись более тридцати лет, но каждый остался при своем мнении. Позиции сторон хорошо резюмируются в широко известных полуморалистических вопросах Эйнштейна и Бора друг к другу. Эйнштейн вопрошал Бора: «Неужели вы в самом деле думаете, что господь бог играет в кости?» На что Бор отвечал: «А, по-вашему, разве не следует проявить осторожность в описании на простом человеческом языке поступков господина бога?»

С проблемой понимания квантовой механики связан и анализ ряда других ее особенностей. К их числу относится и так называемая квантومهханическая относительность, в которой нашли отражение активность познающего субъекта и его включенность в познавательную ситуацию. Не останавливаясь на дальнейшем рассмотрении ведущих особенностей квантовой механики, уже на основе упомянутого можно заключить, что исходная установка Бора в понимании квантовых процессов имеет подлинно новаторский характер. Его отказ от построения механических моделей, особый упор на непосредственный анализ новых экспериментальных

⁸ Подробнее см.: Принцип дополнительности и материалистическая диалектика. М., 1976.



Институт теоретической физики в Копенгагене. Основан в 1920 г.

ситуаций, привлечение философских представлений о характере человеческих действий при раскрытии природы квантовых процессов обусловили то, что большинство физиков, активно участвовавших в разработке квантовой теории, так или иначе солидаризировались с его подходом. Вместе с тем ряд его утверждений преимущественно общего, философского характера были восприняты далеко неоднозначно. Одну из причин этого можно видеть в том, что, высказывая те или иные положения философского плана, Бор, как правило, не связывал их жестко и определенно с той или иной системой философских воззрений. По-видимому, и здесь он предпочитал руководствоваться принципом дополнительности, следование которому и определяло внутреннюю логику его мысли. Бор рассматривал дополнительность в широком социокультурном контексте, видя в ней одно из средств взаимопонимания не только между представителями разных научных дисциплин, в том числе естественных и гуманитарных, но и разных народов, говорящих на разных языках, придерживающихся разных культурных ценностей, обычаев, традиций.

Становление квантовой механики оказало радикальное воздействие на совершенствование общей модели познания. Более того, на базе абсолютизации и своеобразной трактовки некоторых особенностей квантовой механики и истории ее становления во многом и расцвел неопозитивизм 20—30-х годов нашего века. Неопозитивизм стремился опереться на авторитет новейшего естествознания. В какой-то степени этому способствовала известная философская беззаботность самих естествоиспытателей, в частности и некоторые высказывания Бора, когда он рассматривал отказ физики от траекторного описания физических объектов, как отказ от причинности и пространственно-временных представлений. В дальнейшем он уточнял свои позиции. Однако в подобных условиях получили распространение антирационалистические утверждения о крахе причинности в современной физике. Неопозитивизм вел к расцвету субъективистских представлений в оценке познания и природы человеческих действий вообще, что приводило не только к искажению теоретико-познавательных установок, но представляло громадную социальную опасность. Последнее отмечал уже Б. Рассел. «Понятие «истины», — писал он, — как чего-то, зависящего от фактов, в значительной степени не поддающихся человеческому контролю,

было одним из способов, с помощью которых философия до сих пор внедряла необходимый элемент скромности. Если это ограничение гордости снято, то делается дальнейший шаг по пути к определенному виду сумасшествия — к отравлению властью, которое вторглось в философию с Фихте и к которому тяготеют современные люди — философы или нефилософы. Я убежден, что это отравление является самой сильной опасностью нашего времени и что всякая философия, даже ненамеренно поддерживающая его, увеличивает опасность громадных социальных катастроф⁹.

Бор деятельно способствовал выработке адекватной трактовки, широкого понимания квантовой механики. Последнее стало возможным на основе совершенствования самих представлений о понимании в науке. Этот теоретико-познавательный урок говорит, что понять нечто принципиально новое в науке — значит прежде всего выработать новую достаточно целостную систему понятий, привыкнуть к ней и уметь ею пользоваться. Новая система понятий обладает самостоятельной ценностью, ее содержание нельзя свести к прежним представлениям. Основу для понимания нового дает деятельность по овладению соответствующей сферой действительности, непосредственное соотношение новых понятий с экспериментальными данными. Тем самым формируется умение думать на языке новых понятий и представлений. Осмысление существенно нового включает также выработку более обобщенной философской картины материального мира и его познания. Другими словами, важнейший теоретико-познавательный урок, который вытекает из работ Бора, заключается в том, что, расширяя наше познание процессов материального мира, мы должны совершенствоваться и сами исходные представления о том, что значит понять тот или иной процесс.

КОПЕНГАГЕНСКАЯ ШКОЛА МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

В историю науки нашего века Бор вошел не только своими основополагающими открытиями в атомной физике, но и как руководитель Института теоретической физики в Копенгагене. Институт был основан в 1920 г. по прямой инициативе Бора

и стал его любимым детищем. Проект строительства здания института многократно переделывался по его замечаниям. Бор отдался всецело работе по организации деятельности института, сплочению сил для решения научных проблем. И хотя ко времени основания института он обладал непосредственным опытом работы в таких центрах физических исследований, как Кавендишская лаборатория в Кембридже, возглавляемая Дж. Дж. Томсоном, и Манчестерская лаборатория, руководимая Э. Резерфордом, институт в Копенгагене ознаменовал новые формы творческой работы больших коллективов физиков из различных стран. Следует прямо сказать, что все развитие атомной и ядерной физики в период между двумя мировыми войнами шло под эгидой деятельности Института теоретической физики в Копенгагене. Воздействие института на сплочение и рост научных сил было столь велико, что по значимости в истории его зачастую сравнивали с академией Платона. В этом отношении деятельность института является уникальной, опыт которой еще далеко не изучен. И хотя в наше время научные исследования проводятся в неизмеримо больших масштабах, созданы такие международные центры, как Объединенный институт ядерных исследований (Дубна) и Европейская организация ядерных исследований (Женева), анализ деятельности института Бора может явиться весьма показательным и ценным в деле организации коллективных форм научных исследований.

Успех деятельности института Бора, равно как Манчестерской лаборатории, обусловлен прежде всего тем, что во главе их стояли люди, сами генерирующие фундаментальные физические идеи и непосредственно участвующие в их разработке. Будучи самозабвенно преданы бескорыстному служению истине, они объединяли вокруг себя талантливую молодежь. На открытии института Бор сказал: «В научной работе нельзя делать уверенных прогнозов на будущее, так как всегда возникают препятствия, которые могут быть преодолены лишь с появлением новых идей. Поэтому важно полагаться на возможность и силу определенной группы ученых. Задачи постоянного привлечения новых молодых сил и ознакомления их с достижениями и методами науки ведут к дискуссиям и к вкладу молодых ученых — именно так влияют в мир новые идеи и новая кровь»¹⁰. Бор всегда уделял большое

⁹ Рассел Б. История западной философии. М., 1959, с. 835.

¹⁰ Цит. по: Мур Р., с. 143.



Н. Бор и А. Ф. Иоффе. Ленинград, май 1934 г.

внимание привлечению к исследовательской деятельности молодых творческих сил, повышению уровня их овладения новейшими методами. Он полагал, что творчески сильные личности выбирают для себя и наиболее интересные и трудные задачи, лежащие на магистральном пути развития науки. Дело коллектива — содействие в выборе таких перспективных направлений исследования и в критическом обсуждении получаемых результатов, но это были такие обсуждения, которые выливались в коллективные формы работы.

Увлеченность поиском в любых творческих коллективах немислима вне высоких нравственных отношений и требований. Далеко не всякую работу можно выполнять по принуждению извне. Бор обладал, по свидетельству многих, удивительной способностью разжигать глубокий внутренний интерес сотрудников к исследуемой проблеме и заставлять их поверить в себя и в свои возможности. Поддерживать подобное творческое горение каждого научного работника можно лишь культивируя определенный климат в коллективе. Никто из работавших в институте физиков независимо от своей государственной, националь-

ной или расовой принадлежности, не подвергался дискриминации в атмосфере, определявшейся преимущественно терпимостью Бора. В Копенгагене людей оценивали только по способности «думать ясно и честно». Когда в 1961 г. Бор был в последний раз в Советском Союзе, после его доклада на семинаре у П. Л. Капицы ему был задан вопрос — каким секретом он обладает, что позволило ему в такой степени концентрировать вокруг себя творческую молодежь. Бор быстро ответил, что это действительно очень трудный вопрос, так как методов и рецептов здесь нет. «Но вот что, пожалуй, всегда было характерно, — продолжал он, смеясь, — мы не боялись показать молодому человеку, что мы сами глупы. Мы никогда не воздерживались от заострения разногласий и противоречий. При этом я всегда был против того, чтобы высказывались некие «окончательные и определенные» суждения. Я считал, что вопрос надо поддерживать в состоянии неопределенности и никогда не терять чувство юмора»¹¹.

Напряженная работа над физическими проблемами и интенсивные научные

¹¹ Цит. по: Усп. физ. наук, 1962, т. LXXVI, вып. 1, с. 188.

дискуссии постоянно прерывались живыми обсуждениями иных тем, спектр которых простирался от политических событий, культуры и искусства вплоть до личных стремлений сотрудников. В Копенгагене учились и работали физики из различных стран, и каждый из них привносил элементы культуры своего народа. Сложные исследования, требовавшие упорства, сосредоточенности и полной самоотдачи, дополнялись юмором и шутками, а в дни празднеств — и театрализованными проказами. Все это и создавало неповторимый творческий дух Копенгагена.

Говоря о деятельности Нильса Бора, необходимо специально подчеркнуть не только его исключительную человечность, но и высокое чувство гражданской ответственности за судьбы науки и последствия ее воздействия на развитие общества. Бор вполне определенно заявлял: «Наука всего мира должна быть направлена на благо человечества. В этом отношении социальные проблемы нельзя отстранять от научных проблем»¹².

Бор никогда не скрывал своих симпатий к Советской стране. По приглашению А. Ф. Иоффе, Л. Д. Ландау и других советских физиков весной 1934 г. Бор вместе с супругой совершил первую поездку в СССР. Его сопровождал также Леон Розенфельд, который очень интересовался развитием Советской России и понимал русский язык. Бор с восхищением отзывался обо всем, что ему довелось увидеть в Ленинграде, Москве и Харькове, в результате чего ряд крупных буржуазных газет выступили против него с клеветническими выпадами. Особое впечатление произвела на Бора щедрая государственная поддержка духовно-культурного и научно-технического развития. Он писал: «Советский Союз заставляет задуматься. Трудно сказать, в какой мере все, что здесь происходит, можно перенести в другие страны, но невозможно сомневаться в том, что здесь в некоторых отношениях создается нечто очень чудесное»¹³. Перед лицом практиковавшегося в фашистской Германии расового законодательства, Бор указывал на позитивный опыт советского многонационального государства: «Я верю, что духовный настрой наций может быть объяснен только традициями и внешними условиями, в которых развивались и воспитывались отдельные люди. Все они являют-

ся в конечном счете людьми, и в этом отношении так называемый расовый вопрос не должен был бы существовать. Советский Союз представляет как раз пример того, как многочисленные народы, несмотря на свои языковые различия, нашли, так сказать, общий язык, чтобы на свой лад совместно работать на благо человечества»¹⁴.

Показательно отношение Бора к гитлеровскому фашизму. Он уже задолго до 1933 г. с подозрением и беспокойством следил за губительным политическим развитием в Германии. Когда 30 января 1933 г. президент Гинденбург назначил Гитлера рейхсканцлером, Бор, подобно многим своим соотечественникам, был еще убежден, что такой народ, как немецкий, с его культурными традициями нельзя в течение немногих лет заставить принять нацистскую политику. К тому же Бор верил, что научные контакты, наподобие тех, что практиковались в институте в Копенгагене, могут успешно содействовать уменьшению напряженности в мире и улучшению взаимопонимания между народами и государствами. Положение дел начало меняться, когда по фашистскому расовому законодательству 1933 г. еврейские граждане в Германии были уволены с государственной службы. Бор и многие сотрудники его института незамедлительно включились в международные акции помощи эмигрантам из Германии. Вместе с рядом представителей датской интеллигенции он основал комитет помощи эмигрировавшим работникам умственного труда, для многих из которых маленький институт в Копенгагене стал первым прибежищем. Когда Бор отправился в 1933 г. в США, он вез в своем багаже обширный список фамилий ученых, которых надеялся пристроить на работу. Бор стал решительно выступать против псевдонаучных догм о расовой или национальной исключительности того или иного народа, за постоянное расширение контактов между людьми различных национальных культур. Когда на Всемирном конгрессе антропологии и этнографии, состоявшемся в Эльсноре в 1938 г., в стенах того замка, где Гамлет задавался вопросом «быть или не быть?», Бор решительно заявил, что «контакты между различными обществами всегда обогащали и развивали цивилизацию, делегаты, представлявшие нацистскую Германию, покинули в знак протеста зал заседаний.

¹² Просмотренное и исправленное Н. Бором интервью от 12 мая 1934 г. Архив Н. Бора, Копенгаген.

¹³ Там же.

¹⁴ Там же.

В 1939 г. датская Королевская академия наук и литературы обратилась к Бору с просьбой согласиться занять пост президента этого научного учреждения. Уже дважды ранее он отказывался от такого предложения, ссылаясь на бурное развитие своей специальной научной области. Теперь он был поставлен перед необходимостью принять решение, имеющее политическое значение. По мере усиления угрозы его любимой отчизне со стороны германского фашизма, Бор все острее чувствовал себя датским патриотом. В новых условиях он без промедления заявил о своем согласии стать президентом датской Академии и вплоть до своей кончины оставался на этом высоком посту.

В тяжелых условиях оккупации Бор стремился воздействовать на моральный дух датчан. Показательно в этом отношении его предисловие к книге «Культура Дании в 1940 году», с просьбой о написании которого к нему обратились редакторы. В согласии с ними и издателем труда, Бор стремился с максимально возможной ясностью выразить в условиях оккупации свои чувства к той культуре, с которой он ощущал полное родство. Над небольшим текстом, размером в девять печатных страниц, Бор работал долго. Даже когда предисловие было сдано в набор, потребовалось еще семь корректур, прежде чем книга была подписана в печать. Правки были обусловлены стремлением ясно и кратко выразить «специфически датское отношение к жизни» в сложившихся условиях.

Бор в качестве лейтмотива своей статьи избрал ту мысль, что Дания, являясь малой страной со старыми и самостоятельными культурными традициями, всегда оставалась открытой для влияния и взаимодействия с другими культурами. Он цитировал слова Ханса Кристиана Андерсена: «В Дании я родился, и здесь мой дом ... отсюда начинается мой мир»¹³. Недваусмысленно намекая на чужеземное нацистское владычество, он говорил о праве датского народа на участие в жизни того интеллектуального мира, который принадлежит всему человечеству. Его строки о датской культуре проникнуты глубоким гуманизмом гражданина мира датского происхождения, гордость которого собственной национальной культурой не переходит в национализм и в унижительных условиях оккупации Дании. Книга содей-



Нильс Бор. 1954 г.

ствовала росту патриотических настроений в стране.

Бор поддерживал связи с движением активного сопротивления. Его действия способствовали сохранению жизни многим тысячам датчан. Несмотря на настоятельные просьбы иностранных друзей, Бор продолжал оставаться в Дании, пока была возможность лично поддерживать участников движения сопротивления. Лишь когда Бор узнал о предстоящем ему аресте, он вместе с семьей бежал через пролив в Швецию. Вскоре он прибыл в США, где включился в работу по Манхэттенскому проекту.

СОПРИКОСНОВЕНИЕ С ВЫСОКОЙ ПОЛИТИКОЙ

Бор был одним из первых ученых-физиков, кто ясно осознал, что создание атомного оружия требует и нового политического мышления и действий. Физики, участвовавшие в проекте создания бомбы, все сильнее сознавали ту громадную ответственность, которая лежала на них в связи

¹³ Цит. по: Мур Р., с. 322.



Н. Бор и Л. Д. Ландау. Москва, 1961 г.

с разработкой этого «абсолютного» оружия. Особо остро эту ответственность переживал Бор, когда убедился, что создание этого ужасного оружия является лишь вопросом времени. В ходе дискуссий с коллегами он пришел к выводу, что в дальнейшем, послевоенном развитии международных дел тем или иным странам нельзя делать ставку на монопольное владение этим оружием. Все страны должны получить свободный и равный доступ к основной информации об ядерной энергии, и нужен соответствующий широкий контроль над ее применением. Осуществление подобных подходов может привести к новым формам сотрудничества наций и государств, иначе мир будет ввергнут в неслыханную гонку вооружений. Бор надеялся, что наука может помочь в решении политических проблем. Имеющийся богатый опыт в организации научного сотрудничества может сыграть по-

ложительную роль прежде всего — в развитии взаимного доверия между государствами и народами. Решение этих вопросов представлялось тем более необходимым, что уже шел 1944 г. и на повестку дня встал вопрос о послевоенном устройстве Европы и организации международного сотрудничества.

Бор все сильнее стал ощущать, что нужны действия. В тех условиях, когда атомное оружие разрабатывали два государства — США и Великобритания, а сами эти работы велись в строжайшей секретности, окружение Бора склонялось к выводу, что принять какие-либо действенные решения могли лишь два человека — президент США Ф. Рузвельт и премьер-министр Великобритании У. Черчилль. Бор стал настойчиво искать пути к этим сильным мира сего. Благодаря содействию близких к президенту лиц, Рузвельт был проинформирован о необходимости разработки новых политических подходов в условиях наличия ядерного оружия. Рузвельт перво-

начально даже проявил заинтересованность в этом деле, но для него важно было знать позицию Черчилля, и он просил Бора передать тому специальное послание по рассматриваемой проблеме.

Бор был обрадован складывающимися обстоятельствами и взял на себя труд выполнить эту строго секретную миссию и обсудить соответствующие проблемы с Черчиллем. В Англии его, ко всему прочему, ожидало и дружеское приглашение П. Л. Капицы от 28 октября 1943 г. посетить Советский Союз вместе со всей своей семьей. Из этого письма Бор увидел, что его предложения, которые он хотел сообщить Черчиллю, были в основе своей реалистичными. Бор придерживался мнения, что Советское правительство должно быть официально и как можно скорее проинформировано о Манхэттенском проекте. Он в 1944 г. предвидел, что мир с атомной бомбой и монополией на нее станет иным. Бор предлагал Черчиллю свои услуги для установления предварительных контактов с ведущими учеными Советского Союза.

Британский премьер-министр не спешил встретиться с Бором. Встреча эта состоялась лишь после обращения к Черчиллю многих высокопоставленных лиц, в том числе и президента Лондонского королевского общества. Однако на ней так и не обсуждались те вопросы, ради которых она была задумана. Фактически Черчилль занял позицию против радикальных политических преобразований, созвучных атомному веку, тем более он был решительно против всяких контактов с Советской Россией для обсуждения возникших проблем. Черчилль стремился хранить в строжайшей тайне работы по атомному проекту. Бор понимал, что эта тактика в конечном счете могла быть расценена страной, которая вынуждена была нести главную тяжесть войны, как вступление к послевоенной политике шантажа, и принудить ее к ответным мерам. Бор понимал также, что Советский Союз делает все для того, чтобы в кратчайший срок покончить с монополией США и Великобритании на атомное оружие. Он знал о научных и технических возможностях СССР. Но его собеседник, ослепленный антикоммунизмом, не мог допустить изменений в политическом мышлении.

Миссия Бора в Великобритании окончилась неудачей. Итоги ее обсуждались в некоторых кругах, они заинтересовали Рузвельта, и он выразил желание встретиться с Бором. Но для того чтобы эта беседа

была предметной, Бору предложили предварительно изложить свои взгляды в виде меморандума. Бор тщательно работал над меморандумом. В нем, в частности, говорилось: «...если только в должное время не удастся достигнуть соглашения о контроле над использованием новых активных материалов, любое временное превосходство, каким бы значительным оно ни было, может оказаться менее весомым, чем постоянная угроза безопасности человечества»¹⁶. В дополнении к меморандуму он большое значение придал деятельности ученых. В разработке мероприятий, направленных на установление системы общей безопасности, «возможно будет заручиться поддержкой ученых, содружество которых в течение ряда лет было столь многообещающим... Вполне вероятно, что личные связи между учеными различных стран помогут установить предварительные и неофициальные контакты»¹⁷.

Встреча Бора с Рузвельтом состоялась в августе 1944 г. Президент даже сказал, что он в основном согласен с меморандумом Бора. Он признал, что овладение атомной энергией знаменует начало новой эры в истории человечества. Но в итоге высказался, что должен обсудить эти проблемы с Черчиллем. Однако состоявшаяся в сентябре месяце встреча Рузвельта с Черчиллем не привела к выработке каких-либо новых подходов к атомной проблеме. Руководители США и Великобритании взяли курс на достижение военного превосходства над СССР, сделав при этом основную ставку на свою монополию в области создания и совершенствования атомного оружия. Было отдано распоряжение о мерах по сохранению полной секретности в отношении работ по ядерной энергии. Более того, в «Памятной записке о переговорах между президентом и премьер-министром в Гайд-Парке 19 сентября 1944 года» говорилось: «... мы настаиваем на проведении расследования по поводу деятельности профессора Бора; необходимо убедиться, что он не несет ответственности за утечку информации, особенно русским»¹⁸.

Бора стали подозревать в измене, в выдаче стратегически важных военных секретов. Дело дошло до того, что обсуждался вопрос об аресте. Понадобилось вмешательство весьма авторитетных официаль-

¹⁶ Там же, с. 385.

¹⁷ Там же.

¹⁸ Там же, с. 390.

ных сил, чтобы отвести от Бора все те нелепые обвинения, которые исходили в первую очередь от Черчилля.

Мирная миссия Бора потерпела неудачу, но это не поколебало его решимости бороться против угрозы ядерного оружия. В то же время эта миссия явно показала, что для достижения полного контроля над ядерным оружием необходимо сплочение всех миролюбивых сил планеты. Руководители западных стран не хотели прислушаться к голосу тех ученых, которые ясно осознавали, что вступление человечества в атомный век требует и новых политических подходов. Искушение опереться на силу, которую давали новейшие достижения науки и техники, для проведения старой политики господства, возобладаало над разумной оценкой реального положения вещей. Западные страны отвергли предложения Советского Союза от 1947 г. по контролю, предусматривающие инспекции специальной комиссии ООН, которая была бы уполномочена беспрепятственно посещать все страны и иметь доступ ко всем атомным установкам. Как и предвидел Бор, после первых атомных взрывов началась безудержная гонка ядерных вооружений, которая со времен окончания второй мировой войны держит все человечество в небывалом напряжении его материальных и духовных сил. Все это до глубины души печалило Бора.

Бор и в дальнейшем продолжал настойчиво предупреждать о необходимости подобающим образом встретить атомный «вызов цивилизации». В 1950 г., когда была в разгаре развязанная империалистическими державами холодная война, он высказал свое мнение о политических вопросах в связи со средствами массового уничтожения в «Открытом письме» в Организацию Объединенных Наций. В нем Бор изложил свою развитую в диалоге с политиками и учеными концепцию «открытого мира», в котором было бы обеспечено мирное сотрудничество всех государств, свободное общение между ними и свободный обмен информацией, устранены все источники взаимного недоверия и в котором «каждая нация могла бы выделяться только в той мере, в какой она может способствовать росту общей культуры и в какой она может помочь другим странам своими ресурсами и своим опытом»¹⁹. Сходные мысли Бор высказал в докладе

на первой конференции ООН по мирному использованию ядерной энергии (1955, Женева) и в письме к Генеральному секретарю ООН от 9 ноября 1956 г.

Предложенная Бором на заре атомного века программа мира и международного сотрудничества в наше время становится еще более актуальной. Ныне научно-техническое развитие приняло грандиозные формы. Продолжающаяся ракетно-ядерная гонка вооружений грозит перекинуться в космос. Перед человечеством сейчас нет более ответственной задачи, чем задача прекращения этой гонки с тем, чтобы в конечном счете добиться всеобщего и полного разоружения.

Бор скончался 18 ноября 1962 г. П. Л. Капица напишет о нем: «Во всей мировой науке в наши дни не было человека с таким влиянием на естествознание, как Бор. Из всех теоретических троп тропа Бора была самой значительной»²⁰. Л. Д. Ландау скажет: Бор «щедро дарил людям Добро и Знания»²¹. Развитие науки Бор всегда оценивал в широком контексте культуры. Он всю жизнь оставался верным своему идеалу, согласно которому наука должна выполнять культурную функцию объединения народов. Этому идеалу он оставался верным в том изменяющемся мире, в котором наука, техника и технология все больше и больше вовлекаются в обостряющуюся борьбу между социализмом и капитализмом. Тем значительнее его позиция, что нет никакой разумной альтернативы политике мирного сосуществования государств с различным общественным строем. Тем значительнее его программа действий — программа человека, «совесть которого находилась под постоянным давлением мыслей об угрожающей людям опасности»²², за избавление людей от атомного кошмара.

²⁰ Капица П. Л. Памяти Нильса Бора. — Природа, 1963, № 1, с. 67.

²¹ Ландау Л. Д. — «Комсомольская правда», 1965, 6 октября.

²² Цит. по: Мур Р, с. 361.

Прорыв в новую землю*

В. Гейзенберг

Когда спрашивают, в чем, собственно, заключалось великое достижение Христофора Колумба, открывшего Америку, то приходится отвечать, что дело не в идее использовать шарообразную форму Земли, чтобы западным путем приплыть в Индию, эта идея уже рассматривалась другими. Дело было и не в тщательной подготовке экспедиции, в мастерском оснащении кораблей, что могли осуществить опять-таки и другие. Но наиболее трудным в этом путешествии-открытии, несомненно, было решение оставить всю известную до тех пор землю и плыть так далеко на запад, чтобы возвращение назад с имеющимися припасами было уже невозможно.

Аналогично этому настоящую новую землю в той или иной науке можно достичь лишь тогда, когда в решающий момент имеется готовность оставить то основание, на котором покоится прежняя наука, и в известном смысле совершить прыжок в пустоту. Эйнштейн в своей теории относительности отказался от того понятия одновременности, которое принадлежало к твердым основам прежней физики; и именно этот отказ от прежнего понятия одновременности не могли совершить многие, даже самые значительные физики и философы, сделавшись ожесточенными противниками теории относительности. Очевидно, можно сказать, что научный прогресс требует от способствующих ему в общем лишь того, чтобы они воспринимали и разрабатывали новые идеи, деятели науки к этому почти всегда готовы. Но когда действительно вступают в новую землю, может случиться так, что мало воспринимать содержание новых идей; требуется изменение структуры мышления;

для того чтобы понять новое. К этому, очевидно, многим образом, многие не предрасположены или не готовы. <...>

В начале лета 1922 г. Геттинген, приятный городок вилл и садов, расположенный на склоне Хайнберга, был украшен бесчисленными цветущими кустами, розами и клумбами, так что самый его внешний блеск оправдывал то, как мы впоследствии окрестили эти дни: «фестиваль Бора» в Геттингене. Картина первой лекции неизгладимо запечатлелась в моей памяти. Зал был переполнен. Датский физик, в котором уже по его росту можно было узнать скандинава, стоял на возвышении чуть склонив голову, дружески и несколько смущенно улыбаясь, а в широко распахнутые окна лилось яркое солнце геттингенского лета. Бор говорил довольно тихим голосом, с мягким датским акцентом, и когда он объяснял отдельные предпосылки своей теории, то произносил слова осторожно, гораздо осмотрительнее, чем мы привыкли слышать от Зоммерфельда, и почти за каждым старательно сформулированным предложением угадывались длинные мыслительные ряды, у которых высказывались лишь начала, а концы терялись в полумраке чрезвычайно взволновавшей меня философской позиции. Содержание лекции казалось и новым, и в то же время не новым. У Зоммерфельда мы изучили теорию Бора и поэтому знали, о чем идет речь. Но все, о чем в ней говорилось, в устах Бора звучало иначе, чем у Зоммерфельда. Непосредственно ощущалось, что свои результаты Бор получил не путем подсчетов и доказательств, а путем вчувствования и догадок, и что теперь ему было нелегко защищать их перед высшей математической школой в Геттингене. После каждой лекции проходила дискуссия, и в конце третьей лекции я отказался сделать одно критическое замечание.

Бор коснулся той работы Крамерса, о которой мне пришлось докладывать на

* Фрагмент из книги: Heisenberg W. Der Teil und das Ganze: Gespräche im Umkreis der Atomphysik. München; 1971, S. 58—64; 101—115.

зоммерфельдовском семинаре, и сказал в заключение, что хотя принципы теории еще неясны, однако можно вполне положиться на то, что выводы Крамерса правильны и в свое время будут подтверждены экспериментами. Тут я встал и изложил те замечания, которые являлись результатами наших мюнхенских бесед и заставляли меня сомневаться в результатах Крамерса. Должно быть Бор почувствовал, что мои замечания опираются на старательные занятия его теорией.

Отвечал он нерешительно, так, словно замечание несколько обеспокоило его; а после дискуссии подошел ко мне и спросил, не можем ли мы во второй половине дня прогуляться вместе по Хайнбергу, чтобы основательно обсудить поставленные мною вопросы.

Эта прогулка оказала сильнейшее влияние на мое последующее научное развитие или даже, вернее сказать, все мое научное развитие, собственно, и началось с этой прогулки. Наш путь шел по одной из хорошо ухоженных лесных тропинок мимо людного кафе «У Ронов» к озаренной солнцем вершине, с которой можно было одним взглядом охватить этот прославленный университетский городок, с возвышающимися над всем окружением шпилями старой церкви Иоанна и Иакова, и холмы по другую сторону Лейнеталя.

Бор начал разговор, возвратившись к утренней дискуссии. «Сегодня утром вы выразили некоторое недоверие относительно работы Крамерса. Сразу должен сказать, что ваше сомнение мне совершенно понятно; и мне кажется, что я должен несколько подробнее объяснить вам, как я отношусь ко всем этим проблемам. Дело в том, что я, в сущности, гораздо ближе к вам, чем вы думаете; и я очень хорошо знаю, сколь осторожно следует подходить ко всем утверждениям о структуре атома. По-видимому, сначала мне нужно немного рассказать об истории моей гипотезы. Она началась вовсе не с той мысли, будто атом это планетная система в миниатюре и что здесь можно применять законы астрономии. До такой степени буквально я это никогда не понимал. Исходным пунктом у меня было другое, а именно — устойчивость материи, которая, с точки зрения прежней физики, предстает подлинным чудом.

Словом «устойчивость» я хочу выразить то, что одни и те же вещества постоянно выступают с одними и теми же свойствами, — что образуются одни и те же кристаллы, возникают одни и те же химические соединения и т. д. Это должно означать,

по-видимому, что и после многих изменений, которые могут произойти под воздействиями извне, атом железа в конце концов остается тем же атомом железа с теми же самыми свойствами. По классической механике это непостижимо, особенно если атом действительно подобен планетной системе. Итак, в природе имеется тенденция к образованию определенных форм — я сейчас беру слово «форма» в самом общем смысле — и к воспроизведению этих форм заново даже тогда, когда они нарушены или разрушены. В этой связи можно даже вспомнить о биологии: ведь устойчивость живых организмов, образование сложнейших форм, которые к тому же способны к существованию всегда лишь как целое, — явление того же рода. Правда, в биологии речь идет о весьма сложных, изменяющихся во времени структурах, которых мы сейчас не будем касаться. Я хотел бы здесь говорить лишь о простых формах, с которыми мы встречаемся уже в физике и химии. Существование элементарных веществ, наличие твердых тел — все это опирается на устойчивость атомов, включая и тот факт, что, например, от люминесцентной лампы, наполненной определенным газом, мы всегда получаем свет одного и того же цвета, световой спектр с совершенно одними и теми же спектральными линиями. Все это само по себе вовсе не ясно и, напротив, представляется непонятным, если исходить из принципа ньютоновской физики, из строгой причинной детерминированности событий, когда всякое новое состояние должно быть однозначно определено предшествующим состоянием и только им. Это противоречие беспокоило меня уже очень давно.

На чудо устойчивости материи еще долгое время не обращали бы внимания, если бы за последние десятилетия на него не пролили новый свет важные открытия иного рода. Как вам известно, Планк обнаружил, что энергия атомарной системы изменяется прерывисто и что при излучении такой системой энергии существуют, если можно так выразиться, «остановки» с определенными уровнями энергии, которые я позднее назвал «стационарными состояниями». Затем выступил Резерфорд со своими исследованиями структуры атома, которые оказались столь решающими для последующего развития науки. Там, в Манчестере, в лаборатории Резерфорда, я со всей этой проблематикой ознакомился. Я тогда был почти так же молод, как вы сейчас, и вел по этим вопросам бесконечные разговоры с Резерфордом. Наконец,

в самое последнее время были обстоятельно изучены явления свечения, измерены спектральные линии, характерные для различных химических элементов, и разнообразные химические открытия предоставляют, естественно, множество свидетельств о поведении атомов. Весь этот ход развития, который я в свое время пережил непосредственно, поставил вопрос, от которого в наше время мы уже не можем уклониться, а именно вопрос о том, как здесь связать концы с концами. Теория, которую я попытался построить, была и призвана поэтому обеспечить такую связь.

Но в сущности, это ведь, конечно, совершенно безнадежная задача, задача совсем иного рода, чем обычные научные задачи. В самом деле, раньше в физике, да и в любой другой науке, когда требовалось объяснить новое явление, можно было, используя имеющиеся понятия и методы, свести это новое явление к уже известным феноменам или законам. А в атомной физике нам хорошо известно, что прежние понятия для этого совершенно недостаточны. Ввиду устойчивости материи ньютоновская физика не может действовать внутри атома, она в лучшем случае может разве что послужить здесь отправной точкой. И по этой причине невозможно также никакое наглядное описание структуры атома, поскольку подобное описание — именно ввиду своей наглядности — должно было бы прибегнуть к понятиям классической физики, которыми, однако, уже нельзя охватить происходящего. Вы понимаете, что в такой теории я замахнулся, собственно, на что-то совершенно невозможное. И действительно: надо высказать нечто о структуре атома, а мы не располагаем языком, на котором могли бы понятным образом выразиться. Таким образом, мы в известном смысле оказались в положении моряка, которого прибило к далекой земле, где не только условия жизни совершенно иные, чем известные ему с детства, но где и язык живущих там людей ему абсолютно чужд. Ему нужно добиться понимания, а у него в распоряжении нет никаких средств для понимания. В подобном положении новая теория вообще не может ничего «объяснить» в том смысле, как это было принято до сих пор в науке. Речь идет о том, чтобы указать на существующую связь и наощупь, осторожно продвигаясь вперед. Так же я представляю себе и расчеты Крамерса; а сегодня утром, я очевидно, выразился недостаточно осторожно. Но большая точность пока еще просто невозможна».



В. Гейзенберг. 1929 г.

Из этих слов Бора я сразу почувствовал, как хорошо и ему тоже знакомы все сомнения и возражения, которые мы обсуждали в Мюнхене. Желая удостовериться в том, что я понял его правильно, я в ответ спросил: «Однако что же означают образы атомов, которые вы на днях показывали и обсуждали на ваших лекциях, доказывая при этом их обоснованность? В каком смысле их нужно понимать?»

«Эти образы, — отвечал Бор, — выведены или, если вам угодно, угаданы исходя из имеющихся сведений, а не получены с помощью каких-либо теоретических расчетов. Я надеюсь, что эти картинки описывают структуру атома столь точно, но в то же время и лишь настолько точно, сколь это возможно, пользуясь наглядным языком классической физики. Надо отдавать себе отчет в том, что язык здесь можно использовать лишь подобно тому, как он используется в поэзии, где, как известно, речь идет не о том, чтобы точно изобразить те или иные обстоятельства, а о том, чтобы навеять в сознании слушателя определенные картины и вызвать внутренние ассоциации».

«Но как же тогда, собственно, добиваться прогресса? Ведь в конце концов, должна же физика быть точной наукой».

«Остается ожидать,— сказал Бор,— что парадоксы квантовой теории, непонятные черты, связанные с устойчивостью материи, с каждым новым открытием будут выступать во все более ярком свете. Если это произойдет, то можно надеяться, что с течением времени возникнут новые понятия, с помощью которых мы сможем так или иначе понять и эти не допускающие наглядности процессы в атоме. Однако до этого нам еще далеко».

Ход мысли Бора напомнил мне точку зрения, которую высказал Роберт¹ во время нашего путешествия к озеру Штарнбергер: атомы — это вообще не вещи. Хотя Бор и считает, что ему известны весьма многие подробности внутренней структуры химических атомов, однако электроны, из которых состоят оболочки этих атомов, явным образом уже не являются вещами; во всяком случае, они не являются вещами в смысле прежней физики, вещами, которые можно без всяких оговорок описать в понятиях места, скорости, энергии, протяженности. Поэтому я спросил Бора: «Если внутренняя структура атомов столь мало поддается наглядному описанию, как вы говорите, и если у нас, собственно, нет языка, на котором мы могли бы вести речь об этой структуре, то сможем ли мы вообще когда бы то ни было понять атомы?» Бор несколько помедлил, а потом сказал: «Пожалуй, сможем. Но при этом мы должны также сперва узнать, что означает слово «понимание»».

Меж тем мы добрались в нашем маленьком путешествии до вершины Хайнберга, придя к ресторану, который, очевидно, называется «Поворот» потому, что уже с давних времен там обычно поворачивали назад. Повернули оттуда и мы снова к долине, которая на этот раз открылась перед нами в южном направлении с видом на холмы, леса и деревни в Лейнетале, теперь уже давно вошедшие в черту города.

«Ну что же,— возобновил Бор нашу беседу,— мы говорили с вами о стольких трудных вещах, и я даже рассказывал вам, как сам пришел в эту науку; но мне еще ничего не известно о вас. Вы выглядите еще очень молодым. Может даже показаться, что вы начали с изучения атомной физики и только после этого изучили прежнюю физику и все прочее. По-видимому, Зом-

мерфельд очень рано ввел вас в этот приключенческий мир «атомов». <...>

Когда мы приблизились к первым домам города, разговор перешел на геттингенских физиков и математиков Макса Борна, Джеймса Франка, Рихарда Куранта и Давида Гильберта, с которыми я познакомился лишь в эти дни, и мы вкратце выяснили возможность для меня провести часть моего студенческого времени в Геттингене. Так открылось будущее, полное новых надежд и возможностей; и, уже проводив Бора домой, по пути к своей гостинице я еще разрисовывал его яркими красками. <...>

В первые месяцы 1926 г., примерно в то же время, когда мне пришлось делать свой доклад в Берлине, нам в Геттингене стала известна работа венского физика Шредингера, который с совершенно новой стороны подходил к проблеме атомной теории. Уже год назад Луи де Бройль во Франции обратил внимание на то, что любопытный дуализм волновой теории и теории частиц, который делал пока еще невозможным рациональное объяснение световых явлений, может играть некоторую роль и в отношении материи, например, в отношении электронов. Шредингер развил эти соображения, сформулировав закон, согласно которому волны материи должны распространяться под воздействием электромагнитного силового поля. В соответствии с этим представлением стационарные состояния оболочки атома можно было уподобить собственным колебаниям той или иной системы, например колеблющейся струны; естественно, что при этом величины, которые обычно рассматривались как энергии стационарных состояний, здесь оказывались частотами собственных колебаний. Результаты, достигнутые на этом пути Шредингером, очень хорошо соответствовали данным новой квантовой механики, и очень скоро Шредингеру удалось доказать, что в математическом аспекте его волновая механика эквивалентна квантовой механике и что таким образом речь идет о двух различных математических формулировках одного и того же содержания. В этом смысле мы были как нельзя более довольны этим новым событием, поскольку оно служило ощутимым подкреплением нашей веры в правильность новых математических формулировок; кроме того, по методике Шредингера можно было осуществить целый ряд расчетов, которые в квантовой механике были бы крайне сложными.

Однако при физической интерпрета-

¹ Борт В. Гейзенберга

ции математической схемы начинались трудности. Шредингер надеялся, что благодаря этому превращению частиц в волны материи можно наконец избавиться от парадоксов, которые долгое время столь безнадежно затрудняли понимание квантовой теории. Материальные волны должны были при этом играть роль наглядных происходящих в пространстве и времени процессов — примерно так же, как это обычно имело место в отношении электромагнитных волн или звуковых волн. Столь мало понятная прерывность, как в случае «квантовых скачков» и подобного, должна была полностью быть изгнана из теории. Я не мог поверить этому толкованию, потому что оно полностью противоречило нашим копенгагенским представлениям, и мне было тревожно видеть, что многие физики именно это толкование Шредингера поняли как освобождение. В ходе многих бесед, которые в течение года у меня происходили с Нильсом Бором, Вольфгангом Паули и многими другими, мы достигли, как нам представлялось, полной ясности относительно того, что наглядное пространственно-временное описание происходящих в атоме процессов невозможно. Элемент прерывности, который Эйнштейн в Берлине охарактеризовал как особую отличительную черту атомарных явлений, не допускал подобного описания. Конечно, это было пока еще только негативное утверждение, и от полного физического истолкования квантовой механики мы были пока еще очень далеки. Тем не менее мы считали себя вправе быть уверенными, что от представления о протекающих в пространстве и времени объективных процессах² надо так или иначе избавиться. В противоположность этому шредингеровское толкование сводилось к тому — и здесь скрывалось самое поразительное, — что факт этой прерывности просто-напросто отрицался. Нельзя уже было принимать за истину то, что при переходе от одного стационарного состояния к другому атом внезапно меняет свою энергию, излучая отдающую энергию в виде эйнштейновского светового кванта. Вместо этого предполагалось, что излучение происходит ввиду того, что при подобном процессе два постоянных материальных колебания возбуждаются одновременно, и интерференция этих двух колебаний является причиной излучения электромагнитных волн,

например световых волн. Эта гипотеза казалась мне слишком смелой, чтобы быть истинной, и я собрал все свидетельства, доказывающие, что прерывность все же является подлинной чертой действительности. Естественно, ближайшим аргументом выступала формула излучения Планка, в эмпирической верности которой уже нельзя было сомневаться и которая при этом служила исходной точкой для тезиса Планка о дискретных стационарных энергетических уровнях.

Ближе к концу летнего семестра 1926 г. Шредингер был приглашен Зоммерфельдом прочесть на мюнхенском семинаре доклад о своей теории, и это предоставило мне первую возможность для дискуссии. В этом семестре я снова работал в Копенгагене и в связи с исследованиями атома гелия освоил также и шредингеровскую методику. За время последовавшего затем отдыха на озере Мьоза в Норвегии я завершил работу и после этого с рукописью в рюкзаке в полном одиночестве прошел от Гудбрандсдала через несколько горных цепей по нехоженым тропам до Согнефьорда. После краткого пребывания в Копенгагене я поехал, наконец, в Мюнхен, чтобы провести часть каникул с родителями. Таким образом, я получил возможность услышать доклад Шредингера. На семинар пришел также руководитель Института экспериментальной физики при Мюнхенском университете Вильгельм Вин, который, между прочим, был крайне скептически настроен в отношении «атомной мистики» Зоммерфельда.

Сначала Шредингер разобрал математические принципы волновой механики на примере атома водорода, и мы все были восхищены тем, что проблема, которую Вольфганг Паули методами квантовой механики мог разрешить весьма сложными путями, разрешалась теперь изящно и просто обычными математическими методами. Однако в заключение Шредингер заговорил о своем толковании волновой механики, поверить в которое я не мог. В ходе последовавшей затем дискуссии я высказал свои замечания, особенно подчеркнув, что если принять взгляды Шредингера, невозможно будет понять даже закон излучения Планка. Но с этой критикой мне не повезло. Довольно резко Вильгельм Вин ответил, что хотя ему и понятны мои сомнения, однако теперь с квантовой механикой покончено, и говорить больше обо всей этой чепухе вроде квантовой механики и подобном не приходится; а упомянутые мною труд-

² Термин «объективный» употребляется Гейзенбергом не в смысле «действительный», а в смысле «предметный», «определенный».

ности в самое кратчайшее время будут, несомненно, разрешены Шредингером. Шредингер был не столь уверен в его ответе, однако и он остался при том убеждении, что уяснение выдвинутых мною проблем в духе его теории — только вопрос времени. Своими аргументами я уже не мог ни на кого произвести впечатление. Даже Зоммерфельд, который ко мне благоволил, не смог устоять перед убедительной силой шредингеровской математики.

Домой я шел ввиду этого несколько омраченный, и возможно, что в тот же вечер я написал Нильсу письмо, сообщая ему о неудачном конце дискуссии. Вероятно, следствием этого письма было то, что Бор послал Шредингеру приглашение приехать в сентябре на одну-две недели в Копенгаген, чтобы во всех подробностях обсудить интерпретацию квантовой и волновой механики. Шредингер согласился, и естественно, что я тоже поехал в Копенгаген, желая присутствовать при столь важном споре.

Дискуссия между Бором и Шредингером началась уже на вокзале в Копенгагене и продолжалась каждый день с раннего утра до позднего вечера. Шредингер остановился у Бора в доме, так что уже по чисто внешним обстоятельствам в беседах не могло быть никакого перерыва. И хотя Бор в своем обычном обращении с людьми был крайне предупредителен и любезен, здесь он предстал едва ли не каким-то неумолимым фанатиком, который не собирался сделать ни одного шага навстречу своему собеседнику или оставить в чем-либо хотя бы малейшую неясность. Почти невозможно передать, как страстно велась дискуссия с обеих сторон, сколь глубоко коренились убеждения, которые можно было угадать за произносимыми фразами как у Бора, так и у Шредингера. Поэтому в нижеследующем речь может идти только об очень бледном отражении тех бесед, в которых с напряженной силой шла борьба об истолковании недавно достигнутого математического представления природы.

Шредингер: «Вы должны все же понять, Бор, что все представления о квантовых скачках необходимым образом ведут к бессмыслице. Здесь утверждается, что в стационарном состоянии атома электрон сначала периодически вращается по той или иной орбите, не излучая. Не дается никакого объяснения, почему он не должен излучать; согласно теории Максвелла, излучение быть должно. Потом электрон почему-то перескакивает с этой орбиты на

другую, и происходит излучение. Должен ли этот переход совершаться постепенно или внезапно? Если он совершается постепенно, то электрон должен постепенно же изменять частоту своего вращения и свою энергию. Непонятно, откуда при этом возникают четкие частоты спектральных линий. А если переход совершается внезапно, так сказать, скачком, то, хотя принимая эйнштейновские представления о квантах света и можно прийти к правильному числу световых колебаний, однако приходится спросить, как движется электрон при скачке. Почему он не излучает при этом непрерывный спектр, как то требовалось бы теорией электромагнитных явлений? И какими законами определяется его движение при скачке? Так что все представление о квантовых скачках оказывается просто бессмыслицей».

Бор: «Да, во всем, что вы говорите, вы совершенно правы. Однако это еще не доказательство, что квантовых скачков не существует. Это доказывает только, что мы не можем себе их представить, иными словами, что наглядные понятия, с помощью которых мы описываем события повседневной жизни и эксперименты прежней физики, недостаточны для изображения процессов квантового перехода. Впрочем, здесь нет ничего удивительного, если только вспомнить, что процессы, о которых здесь идет речь, не могут быть предметом непосредственного опыта и что мы не переживаем их непосредственно, а стало быть, и не согласуем с ними наши понятия».

Шредингер: «Мне не хотелось бы вступать с вами в философский спор о формировании понятий, это уже пусть остается делом философов; но я хотел бы просто знать, что происходит в атоме. При этом мне совершенно безразлично, на каком языке об этом говорят. Если в атоме есть электроны, являющиеся частицами, как мы это себе до сих пор и представляли, то они должны так или иначе двигаться. Меня в данный момент интересует лишь точное описание этого движения; однако в конечном счете я хотел бы также знать, каким образом они ведут себя в стационарном состоянии или при переходе из одного состояния в другое. Вместе с тем уже из математического формализма волновой и квантовой механики явствует, что на эти вопросы не существует никакого вразумительного ответа. Но как только мы окажемся готовы изменить свои представления, т. е. сказать, что не существует электронов как частиц, а есть только электронные

волны или волны материи, то все начинает выглядеть по-иному. Мы тогда уже перестаем гадать о четких положениях частот колебаний. Излучение света столь же легко понять, как испускание радиоволн антенной передатчика; противоречия, которые прежде казались неразрешимыми, исчезают».

Бор: «Нет, к сожалению, это неверно. Противоречия не исчезают, а только отодвигаются в другую область. Например, вы говорите об испускании излучения атома или, в более общем виде, о взаимодействии атома с окружающим полем излучения, и вы полагаете, что, допустив существование материальных волн вместо квантовых скачкообразных переходов, мы устраним трудности. Однако вспомните хотя бы о термодинамическом равновесии между атомом и полем излучения, об эйнштейновских выводах из закона излучения Планка. Для выводов из этого закона решающим является то, что энергия атома принимает дискретные значения и, в частности, изменяется прерывисто; дискретные величины частоты собственных колебаний здесь ничуть не помогут. Поэтому не может быть, чтобы вы серьезно собрались поставить под вопрос все основания квантовой теории».

Шредингер: «Конечно, я не утверждаю, что эти обстоятельства уже совершенно понятны. Однако у вас еще нет сколько-нибудь удовлетворительного физического истолкования квантовой механики. Я не могу понять, почему нельзя надеяться, что применение теории теплоты к теории материальных волн не может в конечном счете привести к удовлетворительному объяснению и формулы Планка; разумеется, это объяснение будет тогда выглядеть несколько иначе, чем существовавшие до сих пор».

Бор: «Нет, на это надеяться не приходится. Ведь уже 25 лет известно, что означает формула Планка. И кроме того, прерывность, скачкообразность атомарных явлений мы наблюдаем совершенно непосредственно, например, на сцинтилляционном экране или в камере Вильсона. Мы видим, что внезапно появляется вспышка света на экране или внезапно через камеру пролетает электрон. Эти внезапные события вы не можете просто отставить и вести себя так, словно их не существует».

Шредингер: «Боюсь, что, если дальше этой проклятой квантовой скачки дело не пойдет, я вообще никогда не буду заниматься квантовой теорией».

Бор: «А вот мы, со своей стороны, очень благодарны вам за то, что вы все-таки

занимались ею, потому что ваша волновая механика в своей математической ясности и простоте представляет громадный прогресс по сравнению с прежними формами квантовой механики».

Спор продолжался так часами днем и даже ночью, но согласие не было достигнуто. Через несколько дней Шредингер заболел, вероятно, вследствие крайнего перенапряжения; жар и простуда заставили его лечь в постель. Фрау Бор ухаживала за ним и приносила чай и вкусные вещи, но Нильс Бор сидел на краешке постели и внушал Шредингеру: «И все же вы должны понять, что...». К подлинному взаимопониманию тогда и нельзя было прийти, потому что ни одна из сторон все же не могла предложить полной и цельной интерпретации квантовой механики. Однако мы, копенгагенцы, к концу этого визита с большей уверенностью ощущали, что мы на правильном пути. Конечно, вместе с тем мы сознавали, сколь трудно будет убедить также и лучших физиков в том, что здесь на самом деле нужно отказаться от пространственно-временного описания атомных процессов.

В последующие месяцы физическое истолкование квантовой механики составляло главную тему бесед между Бором и мной. Я жил тогда на верхнем этаже здания института в красиво устроенном чердачном помещении с косыми стенами, откуда можно было сверху вниз смотреть на деревья у входа в парк Феллед. Бор часто еще и по вечерам заходил в мою комнату, и мы разбирали всевозможные так называемые мысленные эксперименты, чтобы рассмотреть, действительно ли мы уже вполне поняли квантовую теорию. При этом скоро обнаружилось, что Бор и я ищем решения трудностей в несколько различных направлениях. Бор стремился к тому, чтобы оставить равное право на существование за обоими наглядными представлениями — картиной частиц и картиной волн, пытаясь при этом сформулировать вопрос так, что хотя эти представления взаимно исключают одно другое, но, однако, лишь вместе они допускают полное описание атомарных процессов. Для меня такой образ мысли был неприемлем. Я хотел исходить из того, что уже в своей известной тогда форме квантовая механика предписывает совершенно однозначную физическую интерпретацию для некоторых используемых в ней величин, например для средних временных величин энергии, электрического момента, импульса, средних величин колебаний и

т. д., так что, по-видимому, для физической интерпретации не остается уже никакой свободы. Мне, скорее, казалось, что на основании уже существующей частной интерпретации посредством трезвых логических умозаключений можно прийти и к верной общей интерпретации. Поэтому я также — конечно, слишком несправедливо — с некоторым неодобрением относился к одной, самой по себе превосходной, геттингенской работе Борна, в которой он по шредингеровской методике рассматривал процессы столкновения частиц, выдвигая при этом гипотезу, что квадрат шредингеровской волновой функции выражает меру вероятности того, что электрон находится в определенном месте. Тезис Борна я считал совершенно правильным, однако мне не нравилось, что он выглядел таким образом, будто здесь еще существует некоторая свобода истолкования. Я был убежден в том, что тезис Борна необходимым образом вытекает из уже установленной интерпретации специальных величин в квантовой механике. Эту убежденность еще более подкрепили два весьма плодотворных математических исследования Дирака и Иордана.

К счастью, обычно мы с Бором в наших вечерних беседах приходили к одним выводам относительно того или иного физического эксперимента, так что можно было надеяться, что наши столь различные устремления в конце концов приведут к одинаковым результатам. Конечно, мы оба не могли понять, каким образом можно было привести в согласие с математическими формулами квантовой и волновой механики столь простой феномен, как, например, траектория электрона в камере Вильсона. В квантовой механике понятие траектории вообще не упоминалось, а в волновой механике, хотя и допускалась возможность узкого направленного луча материи, однако этот луч должен был распространяться в областях пространства, которые намного больше, чем диаметр электрона. Экспериментальная ситуация явным образом выглядела иначе. Поскольку наши беседы часто затягивались далеко за полночь и, несмотря на продолжавшееся несколько месяцев напряжение, не вели к удовлетворительному результату, мы дошли до состояния истощения, которое ввиду разной направленности мысли вызывало нередко натянутое отношение. Поэтому в феврале 1927 г. Бор решил поехать в отпуск кататься на лыжах в Норвегию, и я был очень рад тому, что могу теперь в Копенгагене один подумать

над этими безнадежно трудными проблемами. Я сосредоточил все свои усилия на вопросе, как в квантовой механике следует математически представлять траекторию электрона в камере Вильсона. Когда уже в один из первых вечеров я столкнулся с совершенно непреодолимыми трудностями, мне пришло в голову, что, возможно, мы ошибочно поставили вопрос. Но что могло здесь быть ошибкой? Траектория электрона в камере Вильсона существовала: ее можно было наблюдать. Математическая схема квантовой механики также существовала, и она была слишком убедительна, чтобы допускать еще изменения. Стало быть, должна существовать — вопреки всей внешней видимости — и возможность установить связь между ними. По-видимому, ближе к полуночи в один из вечеров случилось так, что я внезапно подумал о своем разговоре с Эйнштейном и вспомнил его выражение: «Только теория решает, что можно наблюдать». Мне тут же стало ясно, что ключ к столь долго не отпиравшейся двери нужно искать в этой точке. Поэтому я предпринял ночную прогулку по парку Феллед, желая продумать выводы, вытекающие из высказывания Эйнштейна. В самом деле, мы всегда бездумно говорили, что в камере Вильсона можно наблюдать траекторию электрона. Однако возможно, что реально наблюдалось нечто иное. Возможно, наблюдались лишь дискретные следы неточно определенных местоположений электрона. Ведь фактически мы видим лишь отдельные капельки воды в камере, которые заведомо намного протяженнее, чем электрон. Правильно поставленный вопрос поэтому должен был гласить: можно ли в квантовой механике отразить ситуацию, при которой электрон приблизительно — т. е. с известной неточностью — находится в определенном месте и при этом приблизительно — т. е. опять-таки с известной неточностью — обладает заранее данной скоростью, и можно ли сделать эту неточность настолько малой, чтобы не возникло расхождения с экспериментальными данными? Краткое вычисление после возвращения в институт подтвердило, что подобные ситуации математически изобразить можно и что неточности охватываются тем соотношением, которое позднее было названо соотношением неопределенностей квантовой механики. Произведение неопределенностей величины местоположения и движения (под величиной движения понимается произведение массы и скорости) не может быть меньше кванта дейст-

вия Планка. Тем самым, как мне казалось, была наконец установлена связь между наблюдениями в камере Вильсона и математическими формулами квантовой механики. Разумеется, теперь нужно доказать, что при любом эксперименте могут возникнуть лишь ситуации, удовлетворяющие этому соотношению неопределенностей. Но это мне заранее казалось вероятным, потому что методика эксперимента, наблюдения должны удовлетворять законам квантовой механики. Поэтому когда мы предпосылаем эксперименту отвечающее этим законам соотношение неопределенностей, из эксперимента вряд ли могут вытекать ситуации, не охватываемые квантовой механикой. «Ибо только теория решает, что можно наблюдать». Я решил на следующий день просчитать это на простых экспериментах.

Здесь мне тоже пришлось на помощь воспоминание о беседе, которая у меня была однажды с товарищем по Геттингенскому университету Буркхардом Друде. При обсуждении трудностей, сопряженных с представлением об электронных орбитах в атоме, Буркхард Друде предположил, что в принципе возможен микроскоп чрезвычайно высокой разрешающей способности, в котором траекторию электрона можно видеть непосредственно. Подобный микроскоп мог работать, конечно, не с видимым светом, а, возможно, с жестким гамма-излучением. В принципе можно было бы тогда, вероятно, сфотографировать траекторию электрона в атоме. Поэтому мне необходимо было попытаться доказать, что и подобному микроскопу не удалось бы перейти заданные соотношением неопределенностей пределы. Это доказательство удалось, что укрепило мою уверенность в законченности новой интерпретации. После некоторых дальнейших расчетов подобного рода я поднял свои результаты в длинном письме к Вольфгангу Паули и получил от него из Гамбурга одобрительный ответ, который меня весьма ободрил.

После этого был еще ряд сложных дискуссий, когда Нильс Бор возвратился из Норвегии, где он катался на лыжах. Дело в том, что он тоже развил свои идеи и попытался, как и в наших беседах, сделать принципиальной основой толкования корпускулярно-волновой дуализм. Центральное место в его соображениях занимало вновь созданное им понятие дополнительнойности, которое было призвано описать ту ситуацию, когда один и тот же процесс мы можем охватить двумя различными



Медаль, отчеканенная Парижским монетным двором к 100-летию Н. Бора. Автор Сив Хольм Мьюз.

способами рассмотрения. Оба эти способа рассмотрения взаимно исключают друг друга, но они также и дополняют друг друга, и лишь через рядоположность этих противоречащих друг другу способов рассмотрения наглядное содержание явления исчерпывается полностью. Вначале Бор относился настороженно к соотношению неопределенностей, которое он воспринял, несомненно, как еще один слишком специальный случай общей ситуации дополнительности. Однако вскоре мы поняли — при любезной поддержке работавшего тогда в Копенгагене шведского физика Оскара Клейна, — что никакого настоящего различия между обоими толкованиями уже не остается и что на очереди стоит, следовательно, лишь такое выражение уже вполне понятного положения вещей, которое было бы доступно, несмотря на свою новизну, также и научной общественности.

Дискуссия с научной общественностью произошла лишь осенью 1927 г. на двух мероприятиях — на одной обычной конференции физиков в Комо, где Бор выступил с итоговым докладом на тему новой ситуации, и на так называемом Сольвеевском конгрессе в Брюсселе, на который по традиции фонда Сольве была приглашена лишь небольшая группа специалистов, призванных подробно обсудить

проблему квантовой теории. Мы все жили в одном и том же отеле, и крайне острые споры велись не только в конференц-зале, но и в ресторане отеля. Бор и Эйнштейн несли основную тяжесть этой борьбы за новое толкование квантовой теории. Эйнштейн не был готов принять принципиально статистический характер новой квантовой теории. Естественно, он не имел ничего против вероятностных высказываний там, где соответствующая система неизвестна с точностью во всех своих определяющих моментах. Тем более что на подобных высказываниях покоилась прежняя статистическая механика и учение о теплоте. Однако Эйнштейн не хотел допустить, что познать все необходимые для детерминированности процессов определяющие моменты принципиально невозможно. «Бог не играет в кости» — это выражение можно было часто слышать от него во время дискуссий. Поэтому Эйнштейн не мог примириться с соотношением неопределенностей и попытался придумать такую постановку эксперимента, при которой это соотношение уже не имело бы места. Спор начинался обычно уже рано утром тем, что за завтраком Эйнштейн объявлял нам какой-нибудь новый мысленный эксперимент, который с его точки зрения опровергал соотношение неопределенностей. Разумеется, мы тут же начинали анализировать его, и по дороге на конференцию, на которой я обычно сопровождал Бора и Эйнштейна, достигалось первое разъяснение постановки вопроса и выдвинутой позиции. Потом на протяжении дня об этом велись длительные беседы и, как правило, уже к вечеру дело доходило до того, что на общем ужине Нильс Бор был в состоянии доказать Эйнштейну, что предложенный им эксперимент тоже не может привести к преодолению соотношения неопределенностей. Эйнштейн казался несколько обеспокоенным этим, однако уже на следующее утро за завтраком у него был готов еще один новый мысленный эксперимент, более сложный, чем предыдущий, призванный теперь уже по-настоящему показать недействительность соотношения неопределенностей. Конечно, к вечеру и эта попытка кончалась не лучше, чем предыдущая; и когда в такой игре прошли несколько дней, друг Эйнштейна Пауль Эренфест, физик из Лейдена в Голландии, сказал: «Эйнштейн, мне стыдно за тебя: ты споришь против новой квантовой теории теперь точно так же, как твои противники против теории относитель-

ности». Но и это дружеское увещевание не могло убедить Эйнштейна.

И снова мне стало ясно, как бесконечно трудно отказаться от представлений, которые прежде составляли основу нашего мышления и научного труда. Эйнштейн посвятил труд всей своей жизни тому, чтобы исследовать объективный мир физических процессов, которые где-то там, вовне, в пространстве и времени, независимо от нас протекают по неизблемым законам. Математические символы теоретической физики были призваны, по его убеждению, отразить этот объективный мир и тем самым сделать возможным высказывания о его будущем поведении. И вот теперь утверждалось, что если спуститься до атомов, то такого объективного мира в пространстве и времени вообще не существует и что математические символы теоретической физики отражают только возможное, а не фактическое. Эйнштейн не был готов позволить уйти — как ему представлялось — почве из-под ног. Даже в своей последующей жизни, когда квантовая теория давно уже стала неременной составной частью физики, Эйнштейн не смог изменить свою точку зрения. Он готов был допустить квантовую теорию в качестве временного, но не принимал ее в качестве окончательного объяснения атомарных явлений. «Бог не играет в кости» — этот принцип для Эйнштейна утвержден непоколебимо, он не мог позволить ему пошатнуться³. Бор на это мог ответить лишь: «Но наша задача не может заключаться в том, чтобы предписывать Богу, как Он (с большой буквы у автора — прим. перев.) должен править миром».

Перевод с немецкого В. В. Библихина

³ По-видимому, Эйнштейн здесь имеет в виду известное изречение Гераклида о том, что вечность есть играющее, бросающее игральные кости дитя.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1985 г.)

В мае — июне 1985 г. в Советском Союзе было запущено 19 космических аппаратов, в том числе 16 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства.

На трех спутниках, «Космос-1650», -1651 и -1652», отрабатываются элементы и аппаратура космической навигационной системы, с помощью которой будут определять местонахождение самолетов гражданской авиации и судов морского и рыболовного флотов Советского Союза.

С помощью научной аппаратуры спутников «Космос-1653», -1657 и 1663» продолжают исследования природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяй-

ства СССР и международного сотрудничества. Информация поступает в Государственный научно-исследовательский центр «Природа» для обработки и использования.

На космическом корабле «Союз Т-13» стартовал экипаж в составе командира корабля В. А. Джанибекова и бортинженера В. П. Савиных. 8 июня 1985 г. «Союз Т-13» состыковался с орбитальной научной станцией «Салют-7». Автоматический грузовой корабль «Прогресс-24» доставил на станцию топливо для объединенной двигательной установки станции, оборудование, аппаратуру, материалы для проведения научных исследований, средства обеспечения жизнедеятельности экипажа и почту.

Очередной спутник связи «Молния-3» запущен для обеспечения эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита» и в рамках международного сотрудничества.

Космические исследования

«Союз Т-13»

6 июня 1985 г. в 10 ч 40 мин по московскому времени в Советском Союзе был осуществлен запуск космического корабля «Союз Т-13» с экипажем в составе: командир корабля* летчик-космонавт СССР В. А. Джанибеков и бортинженер летчик-космонавт СССР В. П. Савиных.

В ходе двухсуточного автономного полета «Союза Т-13» было проведено несколько коррекций траектории движения, в результате которых корабль приблизился к станции «Салют-7» на заданное расстояние. Дальнейшее сближение экипаж выполнял вручную. При подходе к станции космонавты осмотрели антенны, солнечные батареи и другие наружные элементы конструкции. 8 июня 1985 г. в 12 ч 50 мин была проведена стыковка «Союза Т-13» с орбитальной станцией «Салют-7». После проверки герметичности стыковочного узла В. А. Джанибеков и В. П. Савиных перешли в помещение станции.

Свою работу на станции космонавты начали с проверки бортовых систем и оборудования и расконсервации станции. Затем были расконсервированы системы обеспечения жизнедеятельности, проверена аппаратура радио- и телевизионной связи, настроен телетайпный аппарат, заменен ряд блоков, вырабатывавших свой ресурс.

В конце июня космонавты занимались разгрузкой автоматического корабля «Прогресс-24», который доставил топливо, оборудование, аппаратуру, материалы для проведения научных исследований; общая масса грузов составила 2000 кг.

С 19 по 23 июня 1985 г. космонавты принимали участие в первом этапе комплексного эксперимента «Курск-85», который проводился в соответствии с программой международного

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1649»	15.V	208	396	72,9	90,2
«Космос-1650»	18.V	19 137	19 137	64,8	676
«Космос-1651, -1652»*					
«Космос-1653»	22.V	222	322	82,3	89,6
«Космос-1654»	23.V	180	365	64,9	89,7
«Молния-3»	29.V	465	40 850	62,8	736
«Космос-1655»	30.V	992	1019	82,9	104,9
«Космос-1656»	30.V	811	864	71,1	101,6
«Союз Т-13»	6.VI	304	338	51,6	90,8
«Космос-1657»	7.VI	195	313	82,3	89,2
«Космос-1658»	11.VI	613	39 342	62,8	709
«Космос-1659»	13.VI	210	379	72,9	90,1
«Космос-1660»	14.VI	1499	1538	73,6	116
«Космос-1661»	18.VI	613	40 164	62,8	726
«Космос-1662»	19.VI	478	521	65,9	94,5
«Прогресс-24»	21.VI	193	270	51,6	88,8
«Космос-1663»	21.VI	227	298	82,3	89,4
«Космос-1664»	26.VI	207	405	72,9	90,3

* Спутники «Космос-1650, -1651 и -1652» запущены одной ракетой-носителем.

сотрудничества в области исследования и использования космического пространства в мирных целях «Интеркосмос». Подспутниковая часть эксперимента проходила в Курской области на территории научно-исследовательского полигона Института географии АН СССР.

В этом эксперименте, осуществленном в рамках международного космического проекта «Изучение динамики геосистем дистанционными методами», принимали участие специалисты НРБ, ВНР, СРВ, ГДР, ПНР, СССР и ЧССР. Цель эксперимента — изучение состояния сельскохозяйственных культур и разработка методов прогнозирования их урожайности с помощью аэрокосмических средств.

Фотографирование земной поверхности со станции «Салют-7» сопровождалось съемкой с искусственных спутников Земли «Космос-1653», «Космос-1657» и «Космос-1663». Одновременно с помощью новой аппаратуры, разработанной и изготовленной в странах — участниках программы «Интеркосмос», выполнялась съемка с самолетов-лабораторий, вертолетов и наземных пунктов наблюдения.

В результате использования комплекса экспериментальной оптической и радиофизической аппаратуры для «многоэтажных» съемок и измерений земной поверхности получен богатый материал о состоянии сельскохозяйственных геосистем и их отдельных компонентов, развитии растительности, содержании влаги в почвах и других характеристиках почвенного и растительного покрова. Этот материал найдет применение в развитии технических средств дистанционного зондирования Земли в странах — членах СЭВ.

Эксперимент «Курск-85» имеет большое значение для накопления опыта международного сотрудничества при проведении крупномасштабных комплексных исследований по дистанционному зондированию Земли с целью изучения, организации и управления природопользованием. В последующие годы по программе «Интеркосмос» предполагается про-



Экипаж космического корабля «Союз Т-13»: командир корабля летчик-космонавт СССР В. А. Джанибеков (на переднем плане) и бортинженер летчик-космонавт СССР В. П. Савинных.

вести эксперименты, подобные «Курску-85», и в других социалистических странах.

В программу научно-технических исследований экипажа входили также медицинские обследования с помощью многофункциональной регистрирующей аппаратуры «Азлита» и «Реограф», визуально-инструментальные наблюдения суши и акватории Мирового океана, изучение структуры верхних слоев земной атмосферы, эксперименты с использованием масс-спектрометрической аппаратуры «Астра-1», геофизические эксперименты, испытания и отработка новых приборов.

Космические исследования

Обнаружена ли гелиопауза?

Структура и точное положение гелиопаузы — границы, на которой поток плазмы, истекающей из Солнца, вступает во

взаимодействие с межзвездной средой, — до сих пор не ясны. Важным шагом в изучении гелиопаузы стало обнаружение космическими аппаратами «Вояджер-1 и -2», пролетавшими мимо Юпитера и Сатурна, радиосигналов, которые, по мнению ряда специалистов, могли бы возбудиться на гелиопаузе¹.

По мере приближения этих аппаратов к границе Солнечной системы регистрируется и постепенное увеличение потока космических лучей галактического происхождения. Принято считать, что в межзвездном пространстве поток космических лучей почти постоянен. Однако вблизи любой звезды (в том числе и Солнца) звездный (или солнечный) ветер приводит как бы к «выметанию» таких потоков. Поэтому «вниз по течению» солнечного ветра поток космических лучей должен становиться сильнее, а там, где солнечный ветер полностью «затихает», поток космических лучей, очевидно, приходит к своему постоянному значению.

В этой связи можно полагать, что зарегистрированное «Вояждерами» явление представляет собой радиоизлучение, вызываемое электронами, которые ускоряются вблизи гелиопаузы. По мнению У. С. Курта (W. C. Kurth; Университет штата Айова, США), моделью такого явления могло бы служить тщательно изученное взаимодействие сверхзвукового потока солнечного ветра с магнитным полем Земли. При таком столкновении (как и при всяком сверхзвуковом взаимодействии) возникает ударная волна, во фронте и перед фронтом которой происходит ускорение электронов.

Существование ударной волны в области гелиопаузы, однако, пока еще не доказано. Так, Дж. А. ван Аллен (J. A. van Allen; Университет штата Айова) полагает, что область гелиосферы, занятая магнитным полем Солнца, перемещается в пределах межзвездной среды со скоростями, много меньшими

¹ Подробнее об этом, см.: На границе Солнечной системы. — Природа, 1985, № 7, с. 106.

сверхзвуковых, и тем самым не в состоянии вызывать ударную волну.

Ф. Скарф (F. Scarf; аэрокосмическая фирма «TRW Systems» Калифорния), напротив, утверждает, что столкновение солнечного ветра с межзвездной средой, как и его столкновение с магнитным полем Земли, может быть сверхзвуковым. Однако точное местоположение гелиопаузы пока неизвестно. По разным оценкам, она отстоит от Солнца на расстояние 50—100 а. е. К настоящему времени «Вояджер-1» прошел расстояние менее 25 а. е.

Конечно, нельзя с абсолютной уверенностью утверждать, что зарегистрированное радиоизлучение принадлежит именно гелиопаузе. Не исключено, что оно связано с электромагнитным излучением, захваченным хвостом магнитосферы Юпитера, или же возникающим в магнитосфере Сатурна, либо даже в каких-то объектах, находящихся за пределами гелиопаузы.

Окончательно проблема гелиопаузы может быть разрешена лишь в 90-х годах нашего века, когда «Вояджеры» и «Пионер-10» окажутся за пределами Солнечной системы.

Nature, 1984, v. 312, p. 27; New Scientist, 1984, v. 104, № 1431, p. 22 (Великобритания).

Астрофизика

Распространенность дейтерия в кометах

Соотношение изотопов дейтерия и водорода (D/H) — один из критических параметров при оценке космологических моделей эволюции Вселенной. Однако всегда необходимо помнить, что наблюдаемая распространенность дейтерия отражает и различные вторичные физико-химические процессы, например ионно-молекулярные реакции в межзвездных облаках, приводящие к обогащению дейтерием некоторых соединений. Поэтому непосто- ясно истинное первичное соотношение D/H. По наблюдениям

астрономов, в межзвездном веществе отношение D/H изменяется в пределах от $2 \cdot 10^{-6}$ до $2,5 \cdot 10^{-5}$.

Очень важно знать распространенность дейтерия в объектах Солнечной системы. Считалось, что в кометах эти летучие элементы могли бы сохраниться в первозданных соотношениях, характерных для протосолнечного облака или даже еще более раннего плотного молекулярного межзвездного облака. Специалисты надеются, что с помощью масс-спектрометра удастся измерить изотопный состав водорода в комете Галлея. Но сохранило ли это небесное тело первичную распространенность дейтерия, характерную для момента образования Солнечной системы?

В. Ванышек и П. Ванышек (V. Vanyšek, P. Vanyšek; Пражский университет, Чехословакия, и Университет штата Северная Каролина, США) выдвинули предположение, что летучие соединения, входящие в состав комет, конденсировались либо в межзвездном плотном облаке, либо в протосолнечном облаке, из которого затем образовалась Солнечная система. В такой среде конечное соотношение летучих соединений определяется химическими реакциями, включая разделение изотопов. По мнению авторов, процессы фракционирования происходят в газовой фазе первичного межзвездного облака еще до того, как насыщенные дейтерием молекулы внедряются в ходе аккреции в кометозимали. При низких температурах должно произойти очень сильное изотопное фракционирование водорода с образованием молекул, богатых дейтерием; соотношение D/H возрастает в 1000 раз по сравнению с окружающей космической средой.

По этой причине, считают авторы, кометы не могут рассматриваться как объекты, пригодные для оценок первичной распространенности дейтерия. Если в комете Галлея будут обнаружены соотношения D/H, близкие к 10^{-5} , все равно останется неясным, является ли это соотношение первичным или же оно искажено последующим изотопным фракционированием. Но если в результате поле-

тов к кометам удастся определить соотношение D/H, близкое к тому, которое с помощью оптических методов установлено для межзвездной среды, это будет свидетельствовать об относительно высокой температуре среды, в которой возникли кометы.

Icarus, 1985, v. 61, p. 57—59 (США).

Астрономия

Длительность суток на Нептуне

Американские астрономы Б. Смит (B. Smith; Университет штата Аризона) и Р. Терриль (R. Terrell; Лаборатория реактивного движения, штат Калифорния) получили необыкновенно четкие изображения планеты Нептун.

Наблюдения проводились на 2,5-метровом телескопе обсерватории Лас-Кампаньас (Чили) в диапазоне 8900 Å, в котором метан, содержащийся в атмосфере Нептуна, поглощает солнечное излучение. Таким образом, сама планета выглядит контрастно темной на фоне света, отражаемого верхним слоем облаков Нептуна. Эти облака состоят, по-видимому, либо из кристаллов метанового льда, либо из твердых частиц, возникающих в ходе фотохимических реакций.

Проведена электронная обработка изображений; их резкость оказалась достаточной, чтобы можно было проследить постепенное исчезновение яркого пятна, обусловленного поглощением света облаками. Это позволило оценить скорость вращения планеты. Известно, что на Юпитере и Сатурне подобные пятна перемещаются примерно с той же скоростью, с какой вращаются сами планеты. Обработка полученных материалов привела Смита и Терриля к заключению, что скорость вращения Нептуна вокруг собственной оси составляет около 17 ч 50 мин, а внутреннее строение Нептуна отличается от внутреннего строения других гигантских планет (Юпитера и Сатурна). Подсчеты показали,

что, если бы они отличались только размерами, продолжительность суток на Нептуне составляла бы не 17 ч 50 мин, а около 14 ч.

Science News, 1984, v. 126, № 3, p. 37 (США).

Физика

Остановка атомов лазерным светом

Несколько групп исследователей из ряда лабораторий США и Франции сообщили о получении стационарного «газа» из нейтральных атомов, эффективная температура которых близка к абсолютному нулю. Такой «газ» находит применение в спектроскопии высокого разрешения, для изучения атомных столкновений при ультранизких энергиях, в качестве ловушек для нейтральных атомов, в атомных стандартах частоты.

Для охлаждения теплового атомного пучка со средней скоростью около 1000 м/с навстречу его движению направляют почти резонансный лазерный луч. Атомы поглощают свет и испускают флуоресцентное излучение, уменьшая свою скорость примерно на 3 см/с в каждом акте поглощения. Однако по мере замедления атомов наблюдается доплеровский сдвиг их частоты; в результате атомы выходят из резонанса с лазерным излучением. Чтобы компенсировать этот эффект, энергетические уровни атомов «подстраивают» за счет зеемановского расщепления, создавая на пути атомного пучка меняющееся магнитное поле. В результате удается замедлить все атомы до скоростей, близких к нулю. Величины максимальной начальной скорости и конечной скорости атомов определяются лазерной частотой, напряженностью магнитного поля и его градиентом.

Компенсацию меняющегося доплеровского сдвига можно осуществлять смещением частоты лазерного света с помощью электрооптических модуляторов на монокристаллах LiTaO_3 . Так удалось получить стационарный газовый образец

из атомов натрия с разбросом скоростей (относительно нулевого значения) около 6 м/с, что эквивалентно кинетической температуре 50 мК. Плотность такого образца не меньше 10^6 атомов/см³. Повторное охлаждение образца с использованием перехода между более долгоживущими энергетическими уровнями атома позволило бы уменьшить разброс скоростей примерно до 3 см/с.

Впервые получен стандарт частоты на базе атомов бериллия, «охлаждаемых» лазерным излучением. Частота составила 303 016 377, 265 070 (57) Гц. Точность такого стандарта сравнима с точностью лучших стандартов частоты на пучках атомов цезия и при некотором усовершенствовании экспериментальной методики может быть улучшена более чем в 10 раз.

Предложена разновидность методики лазерного охлаждения с использованием нескольких световых лучей; таким способом можно захватывать и удерживать нейтральные диэлектрические частицы микронного размера. В подобной оптической ловушке удалось стабильно удерживать капли силиконового масла диаметром 9 мкм. Нейтральные частицы, находящиеся в ловушке, могут служить зондами, чувствительными к оптическому и иному воздействию. В описанном эксперименте осуществлялось воспроизводимое оптическое манипулирование положением отдельной масляной капли на протяжении 5 часов. В течение этого времени положение капли наблюдалось визуально с микронным разрешением.

Physical Review Letters, 1985, v. 54, № 10, p. 992—1003; № 12, p. 1245—1248 (США).

Физика

Нейтронный микроскоп

Группа физиков из Мюнхенского университета (ФРГ) и Института Лауэ — Ланжевена (Гренобль, Франция) сообщила о создании нейтронного микроскопа.

В физике твердого тела

и металловедении давно используется кроме оптического еще и электронный микроскоп, в котором вместо световых лучей работает пучок электронов. Для электронного микроскопа характерно два режима: либо электронный пучок фокусируется с помощью системы электронных линз (как в оптическом микроскопе), либо получают картину дифракции электронных лучей на кристалле (как в рентгенографии).

Кроме рентгенографии и электронографии, дифракционную картину можно получить с помощью нейтронографии. Нейтроны не обладают электрическим зарядом, но имеют магнитные моменты, поэтому чувствительны к распределению не столько электронной, сколько спиновой плотности. (Именно поэтому нейтронография оказалась чрезвычайно полезной в исследовании магнитных материалов.) Естественно, что у физиков всегда было желание сделать нейтронный микроскоп, который был бы таким же дополнением к нейтронографии, как электронный микроскоп — к электронографии. К сожалению, главное преимущество нейтронов — электронейтральность — оборачивается здесь недостатком: чрезвычайно трудно создать систему фокусировки нейтральных частиц, на которые нельзя воздействовать электрическим полем; кроме того, надо учитывать, что масса нейтрона почти в 2 тыс. раз больше массы электрона, поэтому движение нейтронов сильно искажается гравитационным полем.

Тем не менее определенные успехи уже достигнуты. Во-первых, ясно, что микроскоп следует располагать строго вертикально — иначе трудно справиться с искажениями. Об этом уже сообщалось в работах советских исследователей¹. Можно также использовать магнитное поле для корректирования траектории полета нейтронов. Немецкие и французские физики создали нейтронный микроскоп с увеличением 50 (т. е. пока

¹ Многозеркальная оптическая система — прототип нейтронного микроскопа. — Природа, 1985, № 3, с. 113.

довольно слабый) и с разрешением порядка 0,1 мм. Очень важно, что разрешающая способность лимитировалась не aberrациями «оптической» системы, а интенсивностью пучка нейтронов.

Авторы планируют в ближайшее время провести эксперименты с более сильными пучками и достичь максимально возможной в их микроскопе разрешающей способности — 0,02 мм. По оценкам, предел разрешающей способности, который можно достигнуть без принципиального изменения конструкции микроскопа, составляет несколько микрон. Если этот оптимизм авторов оправдается, то нейтронный микроскоп в недалеком будущем станет полезным инструментом для физиков и металлургов.

Physical Review Letters, 1985, v. 54, № 18, p. 1969—1972 (США).

Физика

Получение искусственных алмазов при низких давлениях

Обычно синтетический алмаз получают из графита при температуре 1100 °С и давлении $4 \cdot 10^9$ Па. Однако в случае кристаллов очень малых размеров (кристаллитов), для которых вклад поверхностной энергии в термодинамический потенциал значителен, условия фазового равновесия графит — алмаз (т. е. перехода графитной модификации углерода в алмазную) изменяются.

Э. Ф. Чайковский и Г. Х. Розенберг попытались теоретически рассчитать границу областей стабильности системы графит — алмаз. В качестве удобной модели, позволяющей получить результаты в простой аналитической форме, были выбраны кристаллиты графита и кристаллиты алмаза, состоящие из одинакового числа атомов и имеющие форму, близкую к цилиндру. Поверхностную энергию кристаллитов определяли по числу разорванных межатомных связей в зависимости от радиуса (г) и высоты (Н) кристаллитов. Была получена зависимость для

определения стабильности алмаза (поверхность в пространстве давления Р, температуры Т, радиуса г и параметра $E = H/2r$). При радиусе около 1 нм и $E = 2,5$ алмаз оказывается стабильным в отсутствие внешнего давления в области температур до 2000 К. Область размеров, в которой реально можно ожидать появления кристаллитов со структурой алмаза при $P = 0$, составляет $g \approx 0,3 - 1,5$ нм.

Для сопоставления теоретических результатов с экспериментальными данными кристаллиты алмаза были получены при низких давлениях методом осаждения из низкоэнергетических пучков ионов углерода подложку при $T = 170 - 320$ К. Электронографический анализ образовавшихся пленок показал, что в них преимущественно содержатся кристаллиты алмаза, включающие около 100 атомов углерода.

Полученные результаты могут быть использованы для создания сравнительно дешевой технологии получения ультрадисперсных структур алмаза при низких давлениях.

Доклады АН СССР, 1984, т. 279, № 6, с. 1372—1375.

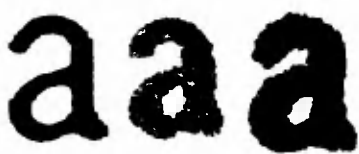
Физика

Оптическая регистрация информации

Оптическая регистрация информации, выводимой из ЭВМ, должна обладать высоким быстродействием, повышенной надежностью и достоверностью, а также использовать дешевые регистрирующие материалы. Двум последним требованиям удовлетворяет типографская печать, в основе которой — создание пробельных и печатных элементов на бумаге с помощью типографских красок. Однако она требует получения промежуточных носителей изображения (печатных форм), что резко снижает ее оперативность и экономичность.

С. Г. Баев, В. П. Бессемельцев, Д. В. Коронкевич и Ю. Н. Ткачук (Институт автоматики и электрометрии СО АН

СССР и Московский полиграфический институт) исследовали способы вывода информации из ЭВМ, обладающие достоинствами типографской печати, но с отсутствием промежуточного носителя. Графические и полутонные изображения регистрировались путем фиксации термоплавого красителя на бумаге при локальном нагреве сфокусированным лазерным излучением интенсивностью порядка 1 МВт/см², либо с помощью теплового разрушения красочных слоев, предварительно нанесенных на бумагу, либо путем переноса красителя под действием лазерного излучения с прозрачной для этого излучения подложки на бумагу.



Фотография фрагмента изображения, записанного методом тепловой фиксации (слева), разрушением (в центре) и переносом (справа) красящего слоя

В эксперименте использовалось лазерное устройство вывода информации из ЭВМ «СО₂-Ромб», созданное в ИАиЭ СО АН СССР на основе СО₂-лазера (длина волны 10,6 мкм, мощность 30 Вт), и макеты таких устройств на основе лазеров на алюмо-иттриевом гранате, созданные в МПИ (длина волны 1,06 мкм, мощность 40 и 20 Вт). Скорость сканирования лазерным лучом составляла 2 м/с, мощность для создания линии толщиной 20 мкм (разрешение 50 линий/мм) — 2,12 Вт при диаметре записывающего пучка света 0,2 мм. Установлено, что скорость записи пропорциональна квадрату мощности. Оценки показывают, что при уменьшении диаметра записывающего пучка в плоскости записи (т. е. обострении его фокусировки) до 50 мкм при мощности излучения 10 Вт можно повысить скорость записи до 300 м/с.

Другой метод оптической записи информации исследовали С. Г. Баев, В. П. Бессемельцев, О. И. Ломовский и А. Я. Лушников (ИАиЭ СО АН СССР). Подложки различного типа смачивались раствором гипосульфита меди $\text{Cu}(\text{H}_2\text{PO}_3)_2$ и высушивались на воздухе. В пленке гипосульфита меди при нагреве идет реакция, в результате которой образуются центры мелкодисперсной меди, создающие участки изображения с высокой оптической плотностью. Минимальный размер «зерна» составляет 7 нм, что позволяет достичь разрешающей способности около 10^5 линий/мм.

В эксперименте использовался CO_2 -лазер. При скорости сканирования 1,6 м/с и диаметре лазерного пучка 300 мкм необходима мощность составила 4,7 Вт. Оценки показывают, что снижение диаметра пучка до 50 мкм позволит повысить скорость записи до 300 м/с.

Квантовая электроника, 1984, т. 11, № 2, с. 339—344; 385—386.

Молекулярная биология

Синтезирован ген кальцитонина человека

Гормон щитовидной железы кальцитонин — один из пептидных гормонов, регулирующих обмен кальция в организме животных и человека. Кальцитонин снижает содержание кальция в крови, предохраняя костную ткань от его потери и предупреждая тем самым развитие такого тяжелого заболевания, как остеопороз (рассасывание костной ткани). Роль этого гормона особенно важна в период роста организма, а также при беременности.

Обычно кальцитонин получают из щитовидной железы животных, что ограничивает широкое клиническое применение этого препарата. Кроме того, известно, что первичная структура гормона у разных видов (лососа, свиньи, быка, человека) различается. Полипептидная цепь кальцитонина состоит из 32 аминокислотных остатков, и различия связаны с участком 10—32 полипептидной цепи. По-

этому перед исследователями стоит задача «заставить» микроорганизмы продуцировать не свойственный им человеческий кальцитонин. Для этого необходимо встроить ген этого гормона в геном бактерий. В 1982 г. была расшифрована нуклеотидная последовательность структурного гена кальцитонина, состоящего из 110 пар нуклеотидов.

Ю. Б. Голова, Б. К. Чернов и А. А. Баев (Институт молекулярной биологии АН СССР) недавно получили синтетический ген кальцитонина человека с помощью химико-ферментативных методов. В структуру синтетического гена внесены небольшие изменения по сравнению с природной последовательностью нуклеотидов фрагмента ДНК кальцитонина. Эти изменения не приведут к нарушению структуры гормона, но облегчат синтез и выделение гена.

Авторы синтезировали 16 относительно коротких олигонуклеотидных фрагментов, содержащих от 10 до 16 нуклеотидов. Из этих фрагментов были получены 4 более крупных олигонуклеотида, содержащих 56, 61, 54 и 49 нуклеотидов. На последней стадии синтеза гена эти крупные фрагменты были попарно, (56+54) и (61+49), «сшиты» с помощью ферментов.

Структура всех олигонуклеотидных фрагментов и конечного продукта — гена кальцитонина человека — подтверждена радиохимическим методом.

Доклады АН СССР, 1984, т. 277, № 5, с. 1258—1260.

Молекулярная биология

Строение рецептора иммуноглобулина Е

Решающим этапом в цепи событий, приводящих к развитию аллергических явлений, можно назвать присоединение аллергена к соответствующим антителам класса иммуноглобулина Е, которые располагаются на поверхности так называемых тучных клеток соединительной ткани или базофильных лейко-

цитов крови. В результате из этих клеток выбрасываются биологически активные вещества, которые и вызывают неприятные патологические симптомы, характерные для аллергии.

Чтобы яснее понять этот патологический процесс, необходимо знать строение мембранного белка-рецептора, к которому непосредственно прикрепляются иммуноглобулины Е. Группе исследователей из Национального института артритов (США), возглавляемой Г. Мецгером (G. Metzger), в результате многолетних исследований удалось выделить этот рецептор в чистом виде и расшифровать его строение. Оказалось, что рецептор является сложным трансмембранным белком-гликопротеином. Одна из его полипептидных цепей (α -цепь) находится на наружной части мембраны клетки и содержит некоторое количество углеводов. Другие цепи (одна β - и две γ -цепи) расположены как в самой мембране, так и входят внутрь клетки. Присоединение одной молекулы аллергена к одной молекуле иммуноглобулина Е, сидящей на клетке, еще не дает эффекта; для этого необходима агрегация нескольких расположенных рядом молекул иммуноглобулина Е, а следовательно, и рецепторов, с которыми они связаны.

Выявлены также некоторые биохимические процессы, которые свойственны ранним этапам, наступающим вслед за реакцией с аллергеном. К ним относятся усиленное поглощение клеткой ионов кальция, повышенное метилирование фосфолипидов, возрастание количества циклического аденозинмонофосфата и увеличение фосфокиназной активности. В последнее время обнаружено также изменение мембранного потенциала, что может отражать открытие ионных каналов в мембране.

Детальное знание всех этих явлений может оказать весьма существенную помощь в поисках того звена, на которое следовало бы оказать воздействие, чтобы прервать всю цепь, приводящую к аллергическому заболеванию.

Molecular Immunology, 1984, v. 21, № 12, p. 1167—1173 (Великобритания).

Генетика

Генетические основы ощущения вкуса

Венгерские генетики Г. Форрай и Г. Банкёви (G. Forrai, G. Bankövi; Будапештская детская поликлиника) показали, что в формировании предпочтения ряда пищевых продуктов играет роль наследственность.

У 98 пар однояйцевых и 67 пар двуйцевых близнецов определяли вкусовую чувствительность к фенилтиокарбамиду: считается, что способность ощущать вкус этого вещества обусловлена двумя-тремя парами генов и может поэтому служить генетическим маркером. Анализ сходства и различий у близнецов подтвердил генетическую природу этой вкусовой способности. Затем близнецы получили список из 69 продуктов питания, против каждого из которых они должны были проставить ответ: «нравится» или «не нравится». Так было выявлено 10 продуктов, отношение к которым связано с ощущением или неощущением вкуса фенилтиокарбамида: копченая колбаса, рыба, черный хлеб, пиво, сливки, капуста белокочанная и кольраби, тыква, бананы и брынза.

Acta Physiologica Hungarica, 1984, v. 64, № 1, p. 33—40 (Венгрия).

Психофизиология

Время реакции водителя

Группа психофизиологов во главе с Т. Пробстом (T. Probst; Мюнхенский университет, ФРГ) обнаружили, что на быстроту реакции водителя при внезапном изменении ситуации существенно влияет скорость движения его автомашины. Этот факт до сих пор оставался незамеченным при исследованиях времени реакции водителя, поскольку в стандартных лабораторных опытах водитель был либо неподвижен, либо двигался с постоянной малой скоростью, причем основное внимание уделялось отно-

сительной скорости V объекта реагирования (относительно водителя).

Для таких условий опыта была установлена экспоненциальная зависимость времени реакции t от относительной скорости $V = t_0 + aV^b$, где t_0 — время реакции в оптимальных условиях (около 0,2 с), а a и b — коэффициенты, зависящие от параметров меняющейся обстановки, причем $b < 0$, т. е. чем быстрее движение объекта относительно водителя, тем быстрее реакция (меньше t). Однако Пробст с сотрудниками показали, что абсолютная скорость, с которой движется водитель, меняет параметры a и b в этой зависимости, смещая экспоненциальную кривую вверх. Таким образом, время реагирования в прежних расчетах занижалось по сравнению с реальным: при скорости, например, 50—70 км/ч время реакции в среднем на 0,3 с больше, чем считалось раньше.

Снижение скорости реагирования при увеличении скорости движения водителя авторы объясняют включением психологических механизмов, которые обеспечивают постоянство восприятия окружающего мира: благодаря этим механизмам мир при нашем движении не кажется нам движущимся или искаженным каким-либо иным способом. Однако в данном случае эти механизмы играют отрицательную роль; они снижают чувствительность водителя к происходящим изменениям.

В качестве практического вывода из этих исследований указывается на необходимость увеличить минимально допустимое расстояние между автомобилями в колонне.

Science, 1984, v. 228, № 4661, p. 536—538 (США).

Физиология

Алкоголь и витамины

Витамины широко и успешно применяются при лечении больных алкоголизмом, поскольку они — предшественники коферментов, которые

связаны с функционированием ферментов, участвующих в метаболизме этанола. Поэтому имеются все основания полагать, что сами витамины и их производные причастны к пусковым реакциям, ответственным за развитие заболевания.

Действительно, было установлено, что введение в организм некоторых витаминов меняет уровень эндогенного (образующегося в процессе обмена веществ) этанола в крови, повышает активность ферментов, участвующих в синтезе и различных превращениях этанола, влияют на уровень алкогольной мотивации (т. е. на природную потребность организма в этаноле).

Особый интерес представляет сравнение концентрации витаминов в различных органах животных с природной алкогольной мотивацией (т. е. «предпочитающих» этанол) и животных, «предпочитающих» воду. Так, крысы различаются по уровню или особенностям обмена тиамина (витамина B_1): в крови крыс, «предпочитающих» этанол, содержится меньше тиамин, чем у животных, «предпочитающих» воду. Кроме того, в печени животных первой группы в несколько раз меньше и пирувата — зависимо от витамина B_1 соединения, которое служит субстратом фермента пируватдегидрогеназы, ответственного за эндогенное образование этанола.

Сотрудники отдела регуляции обмена веществ АН БССР исследовали обмен витамина B_1 у крыс, «предпочитающих» этанол или воду. Оказалось, что у первой группы количество кофермента тиаминдифосфата в мозжечке снижено в 2 раза. По-видимому, митохондрии мозжечка плохо снабжаются коферментом или легко теряют его. Обмен тиаминпирофосфокиназы — фермента, превращающего витамин B_1 в кофермент, в этих группах также резко различается: в первой обмен фермента сильно нарушен в больших полушариях и стволе мозга; можно считать, что у крыс этой группы более низкие показатели обеспеченности организма, особенно нервной ткани, витамином B_1 . На этой основе вполне могут

формироваться те метаболические сдвиги, которые ответственны за более выраженную у этих животных алкогольную мотивацию.

Доклады АН БССР, 1985, т. 29, № 3, с. 281—283.

Медицина

Новое — хорошо забытое старое

Лечение раневой инфекции, проводимое в хирургических клиниках, часто сталкивается с большими трудностями. Объясняется это тем, что бактерии, вызывающие эти инфекции, потеряли чувствительность к действию антибиотиков. Во многих странах ведутся интенсивные поиски новых средств по борьбе с такими бактериями; при этом часто забывают о некоторых старых, испытанных способах лечения, в недалеком прошлом доказавших свою эффективность.

Сотрудники Института здравоохранения, Нумунского госпиталя и Института социального страхования Анкары (Турция) использовали для лечения раневой инфекции метод фаготерапии, который был предложен французским микробиологом д'Эреллем в 1938 г. Бактериофаги анаэробных бактерий с успехом применялись для лечения ран во время второй мировой войны.

Этим методом было проведено лечение 22 больных, страдающих остеомиелитом, открытыми переломами костей. Нагноение ран было вызвано преимущественно стафилококками и кишечной палочкой. Все больные длительное время получали антибиотики, но без всякого результата. Лечебный фаг для каждого больного готовили по методу д'Эрелля на бактериях, извлеченных из раны того же больного. Титр полученного фага доводили до 1 млн частиц в 1 мл. Больным давали пить фильтрат культуры бактерий, содержащий специфический бактериофаг. Этот же фильтрат служил для промывания ран и пропитывания компрессов.

Лечение быстро дало результаты: у 19 больных, принимавших антибиотики в течение 1—7 мес., фаготерапия привела к быстрому очищению поверхности ран и рубцеванию, а также к улучшению общего состояния. Полное выздоровление наблюдалось через 13—28 дней после начала фаготерапии. Успеха не удалось добиться у 3 человек.

Проведенные наблюдения подтверждают возможность широкого использования фаготерапии для заживления поверхности ран.

Известия АН СССР, серия биологическая, 1985, № 1, с. 151—152.

Вирусология

Вакцина против клещевого энцефалита

В создании невосприимчивости к инфекционному заболеванию вполне достаточно присутствия в составе вакцины всего лишь нескольких отдельных антигенных детерминант. Поэтому в последние годы исследователи пытаются создать вакцины, содержащие только те антигенные детерминанты, которые необходимы для выработки иммунитета против определенного инфекционного заболевания.

Сотрудники Института полиомиелита и вирусных энцефалитов АМН СССР и Новосибирского института биоорганической химии СО АН СССР под руководством М. П. Чумакова исследовали возможность создания такой вакцины против вируса клещевого энцефалита. Вирус содержит три структурных белка: V1, V2 и V3 с молекулярной массой соответственно 8, 15 и 55 тыс. дальтон. В 1983 г. австралийскими исследователями было установлено, что V3 — белок внешней оболочки вируса — представляет собой гликопротеид и является основным, а возможно, и единственным компонентом, ответственным за иммуногенные свойства вируса клещевого энцефалита. Однако получить белок V3 в чистом виде весьма непросто, так как его довольно сложно отделить от белка V1.

Советские исследователи справились с задачей, используя для разделения белков комбинацию методов дифференциального центрифугирования с последующим длительным центрифугированием в сахарозе переменной плотности. Источниками получения белка V3 служили вирусы клещевого энцефалита: штамм Софьян и штамм № 256. Оба штамма были выделены на территории СССР, что весьма важно для получения против них вакцины направленного действия. Было установлено, что V3 отличается высоким содержанием глутаминовой кислоты, глицина, валина и лейцина и исключительно низким содержанием цистина и метионина.

Антисыворотки к обоим штаммам вирусов и к гликопротеиду V3 получали с помощью иммунизации кроликов или мышей. Антигенная активность гликопротеидов V3 обоих штаммов в реакциях вне организма не уступала антигенной активности целых частиц вируса клещевого энцефалита. В опытах на животных белок V3 вызывал иммунитет к заражению вакцинированных им мышей вирусом клещевого энцефалита. Таким образом, гликопротеиды V3, полученные из обоих типов вируса клещевого энцефалита, можно считать основной антигенной детерминантой.

Вопросы вирусологии, 1984, т. 29, № 6, с. 694—701; 701—706.

Биология

Нервные клетки делятся и во взрослом мозге!

Долгое время каноном нейробиологии считалось предположение о том, что клетки взрослого мозга неспособны к делению. Однако это относилось лишь к нейронам. Глиальные клетки, играющие важную роль в высших функциях мозга, но выполняющие и ряд вспомогательных работ, делятся и даже мигрируют на небольшие расстояния.

В последние годы такой взгляд опровергается некоторыми физиологами, и в частности Д. Пэйтоном и Ф. Нот-

тебомом (D. Paiton, F. Nottebom; Рокфеллеровский университет, США)¹. Годовалым канарейкам вводили радиоактивно меченный тимидин, который избирательно включается в молекулу ДНК. Чаще всего это предшествует удвоению молекулы и делению клетки. Канареек с помощью электродов заставляли петь и регистрировали электрические импульсы от нескольких десятков клеток в подкорковом ядре, контролирующем пение канареек («певческом ядре»). Это были именно нейроны, а не глия, поскольку импульсы генерируют лишь нервные клетки.

В каждый исследованный нейрон через электроды ввели пероксидазу хрена, после чего из мозга канареек приготавили тончайшие срезы. Оказалось, что в 7 из 74 нейронов, окрашенных пероксидазой, находилась радиоактивная метка. Внешний вид клеток, особенно их длинные отростки, которых не бывает у глиальных клеток, еще раз подтвердили, что это именно нейроны.

Итак, 7 нервных клеток, по мнению авторов работы, поделились во взрослом мозге, причем всего одна — у самца и шесть — у самок. Перед опытом самки получали мужской половой гормон тестостерон, заставляющий этих птиц петь и действующий как раз через нейроны «певческого ядра». Поэтому Д. Пэйтон и Ф. Ноттебом связывают клеточные деления с усилением работы этого ядра во время пения птиц.

Ранее Ф. Ноттебом также с помощью меченого тимидина обнаружил, как он утверждал, не просто деление, а целые перегруппировки нейронов «певческого ядра», происходившие в брачные и, соответственно, «концертные» периоды жизни канареек. Похожие результаты, правда в связи с другими видами поведения, были получены в опытах на рыбах.

Если предлагаемая американскими учеными гипотеза о перегруппировках и делении нейронов в отделах мозга, переходящих от состояния относи-

тельного покоя к активности, подтвердится, это означало бы открытие нового направления в нейробиологии.

И все же некоторые данные заставляют относиться с осторожностью к подобной трактовке результатов. Дело в том, что тимидин и другие нуклеотидные компоненты ДНК иногда включаются в эту молекулу в связи с ее «ремонтными» процессами или перед удвоением цепочки ДНК, за которым не следует деления клетки.

Окончательно ответить на вопрос, размножаются ли взрослые нервные клетки, позволит лишь метод длительного прижизненного наблюдения за отдельными нейронами в мозге.

А. Л. Рылов,
кандидат биологических наук
Москва

Биохимия

Четвертое царство живой природы!

Открытые в 70-х годах архебактерии до сих пор рассматривались как третье царство живых организмов, объединяющее 5 таксономических групп¹. К числу особенностей, которыми архебактерии отличаются от двух других царств живой природы — прокариот и эвкариот, — относили и своеобразие в строении большой и малой рибосомных субъединиц — клеточных оргanelл, на которых происходит синтез белковых молекул. По морфологии рибосомы всех живых организмов делили на 3 типа, каждый из которых характерен для своего царства.

Недавно Е. Хендерсон, М. Окс, М. Кларк и Дж. Лэйк (E. Henderson, M. Oakes, M. Clark, J. Lake; отдел биологии Калифорнийского университета, США; отдел биологии и микробиологии Университета Виктории, Канада; Институт им. М. Планка, ФРГ) выявили

еще один тип рибосом, обнаруженный ими у пяти видов архебактерий: *Sulfolobus acidocaldarius*, *Thermoproteus tenax*, *Desulfurococcus mucosus*, *Thermococcus celer*, *Thermofilum pendens*. По принятой классификации, эти архебактерии относили к аэробным (род *Sulfolobus*) и анаэробным (остальные 4 вида) серным архебактериям. Однако, как показали исследователи, строением рибосомных субъединиц эти 5 видов серных архебактерий отличаются и от организмов своего царства, и от про- и эвкариот, хотя они и ближе к эвкариотному типу. На большую их близость к эвкариотам, а не к архебактериям, указывают также молекулярный вес, иммунологические свойства РНК-полимеразы (фермента, осуществляющего транскрипцию), наличие интронов в генах тРНК, вторичная структура 5S рибосомной РНК, значительное количество последовательностей полиаденина в РНК.

Наряду с изучением биохимических характеристик авторы построили филогенетические древа прокариот, архебактерий, эвкариот и серных бактерий, используя для этого структурные особенности рибосом, каталоги олигонуклеотидов 16S рРНК, а также сродство ДНК и рРНК. На основании анализа этих древ они делают вывод, что серные бактерии представляют собой обособленную монофилетическую группу, которую можно рассматривать как четвертое царство живых организмов.

Science, 1984, v. 225, № 4661, p. 510—512; Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1984, v. 81, p. 3786—3790 (США).

Биология

Преимущества «коммунальной квартиры» у муравьев

У многих видов муравьев молодые самки после брачного полета основывают новые гнезда не поодиночке, а группа-

¹ Science, 1984, v. 225, № 4666, p. 1046—1048 (США).

¹ Подробно об архебактериях см.: Дуда В. И. Архебактерии — новое царство живых организмов. — Природа, 1984, № 2, с. 13.

ми. При таком объединении в гнездах быстрее и в большем числе появляются первые рабочие муравьи, что повышает выживаемость и ускоряет развитие молодых муравьиных колоний. Здесь сказывается так называемый эффект группы — явление, достаточно широко распространенное у насекомых и некоторых других животных.

В экспериментах автора, проводившихся им ранее с самками-основательницами черного садового муравья (*Lasius niger*), было установлено, что эффект группы носит комплексный характер, включая как положительное, так и отрицательное воздействия самок друг на друга¹. Положительное выражается в ускорении созревания самок в группах: они начинают яйцекладку несколько раньше и в первые дни откладывают больше яиц, чем самки-одиночки, однако уже через 2—3 дня их продуктивность снижается — начинают преобладать отрицательные эффекты. Зато в группах самки откладывают значительно больше кормовых яиц (бесплодные, неразвивающиеся яйца, специально предназначенные для кормления личинок). Именно обилие кормовых яиц вызывает ускоренное развитие личинок и более раннее появление первых рабочих муравьев у объединившихся в группы самок.

Чтобы выяснить, каким образом самки влияют друг на друга, летом 1983 г. мы поставили опыт в трех вариантах. В первом варианте каждая из 10 самок получала «отдельную квартиру» — совершенно изолированную от других гипсовую камеру размером $10 \times 10 \times 15$ мм, прикрытую стеклом. Во втором варианте опыта самки (32 особи) жили как бы в «общекитии» — по 4 в камерах размером $10 \times 20 \times 30$ мм, т. е. ровно в 4 раза большую по объему. Здесь на каждую из них приходилась та же «жилплощадь», но зато самки были вынуждены постоянно

сталкиваться и взаимодействовать между собой. Третий вариант представлял собой «коммунальную квартиру» — камеру размером $10 \times 20 \times 30$ мм, разделенную пластиковыми перегородками на 4 одинаковые части. В этих условиях каждая самка владела собственной «комнатой» точно такого же размера, как и обитательницы «отдельных квартир», но постоянно ощущала по запаху и, возможно, благодаря вибрациям и звукам присутствие соседей по «коммунальной квартире».

Результаты опыта оказались совершенно неожиданными: лучше всего самки чувствовали себя в «коммуналках»: там быстрее появились первые яйца и за 40 дней опыта не погибла ни одна особь. В «общекитии» за то же время погибли 6 самок в двух группах (18,8 %). Хуже всего обстояли дела в «отдельных квартирах»: из обитавших там самок 4 (или 40 %) так и не отложили ни одного яйца, а 2 самки (20 %) погибли. Продуктивность самок также оказалась выше всего в «коммунальных квартирах», причем как по кормовым, так и по фертильным яйцам, из которых развиваются личинки. Самки в «отдельных квартирах» и «общекитиях» в сумме отложили одинаковое количество яиц, но эффект взаимного подавления в группах отчетливо проявился: в «общекитиях» самки отложили значительно меньше фертильных яиц и больше кормовых, чем самки-одиночки (все эти различия статистически достоверны с вероятностью больше 99 %).

Таким образом, самки в условиях «коммунальной квартиры» явно более жизнеспособны и плодовиты, чем одиночки и живущие в группах. Вероятнее всего, они ощущают присутствие соседей по запаху и, следовательно, для возникновения благоприятного, стимулирующего эффекта группы достаточно лишь дистанционного восприятия других особей. В условиях «общекития», где самки взаимодействуют физически, более заметно подавляющее влияние их друг на друга, которое приводит к откладке большего числа бесплодных кормовых яиц. Можно предположить,

что подавление плодовитости самок в группах связано с возникновением между ними агрессивных взаимодействий, иерархии и доминирования, недавно обнаруженных у других муравьев².

В. Е. Кипятков,
кандидат биологических наук
Ленинград

Зоология

Гигантский кальмар в Охотском море

Гигантскими можно считать кальмаров с длиной мантии (туловища) 2 м и более; общая их длина — с головой, руками и щупальцами — не менее 3—4 м. Такие крупные кальмары до сих пор были известны в 3 родах и 3 семействах, 2 из которых встречаются в северной части Тихого океана у наших берегов — близ Камчатки и Курильских о-вов. Самые крупные — собственно гигантские кальмары рода *Architeuthis* — обитают в толще воды и у дна на склоне в субтропических и умеренных водах: в южных частях Атлантического, Индийского и Тихого океанов, в Северной Атлантике — от юго-западной Гренландии и северной Норвегии до Флориды и Канарских о-вов, в Северной Пацифике — от южной части Берингова моря до Южной Японии, Гавайских о-вов и Калифорнии. Общая длина североатлантических кальмаров достигает 17 м, масса — предположительно до 1 т. Северитихоокеанские и южные особи помельче: общая длина — 10—13 м, масса до 250 кг. Немногим уступают им северитихоокеанский крючконосный кальмар *Moroteuthis robusta* и антарктический гигантский кальмар *Mesonychoteuthis hamiltoni*; первый из них обитает в глубоководной части Берингова моря

¹ Кипятков В. Е. Муравьи и защита леса. — В сб.: Материалы VI Всес. мир-мекол. симп. Тарту, 1979, с. 107.

² Кипятков В. Е. Иерархия у муравьев-«рабовладельцев». — Природа, 1985, № 5, с. 114. См. также: J. of Natural History, 1983, v. 17, № 2, p. 185; Behavior Ecology and Sociobiology, 1982, v. 17, № 1, p. 137.

и умеренных водах Северной Пацифики, включая прикамчатские и прикурильские воды. Гигантские антарктические кальмары живут в основном южнее 50—60° ю. ш.; общая их длина 4—4,5 м, масса до 100—150 кг. Это очень глубоководные животные (обитают преимущественно на глубине 750—2000 м). В отличие от архитейтитов, руки и щупальца которых вооружены лишь присосками, оба эти вида несут на булаве щупалец два ряда острых крючков, а у антарктического кальмара крючья есть и на руках.

Ни один из этих гигантских кальмаров в Охотском море не найден. Однако в сентябре 1984 г. с научно-исследовательского судна «Новоульяновск» были подняты у западного берега о. Итуруп с глубины 1000—1300 м части тела очень крупного кальмара. Он принадлежит к иному виду, в Охотском море давно известному, но не считавшемуся особо крупным, — *Galiteuthis phyllura* из семейства *Scanchiidae*. Мягкое тело кальмара было разрезано канатами трала и выпало, уцелели лишь щупальце длиной 115 см и кусок руки длиной 40 см. На булаве щупальца (ее длина 187 мм) находится фиксаторный аппарат из 12 присосок и 12 бугорков-кнопок (его функция — скреплять оба щупальца при плавании, для чего бугорки одного щупальца входят в отверстия присосок другого), 16 пар длинных острых изогнутых крючков, а на самом кончике булавы — еще 11 крохотных присосочек. На обрывке руки насчитывалось 112 присосок. Ранее в Охотском море были известны особи *G. phyllura* с длиной мантии лишь до 60 см. В рейсе «Новоульяновска» было поймано свыше двух десятков кальмаров этого вида с длиной мантии 30—66 см. Я измерил щупальца у 8 вполне целых кальмаров, и оказалось, что длина мантии у этого вида в среднем в 14,2 раза превышает длину булавы щупальца; близкий результат (14,7 раза) дают и литератур-

ные сведения¹. Следовательно, длина мантии рекордного экземпляра была 265—275 см, а общая его длина со щупальцами — больше 4 м! Получается, что наш кальмар действительно гигант, но это если судить лишь по длине: достаточно взглянуть на его узкое стреловидное тело, чтобы убедиться, что его масса несравнимо меньше, чем у других гигантских кальмаров.

G. phyllura, как и *M. robusta*, — северотихоокеанский бореальный вид, распространенный от Берингова моря до северо-восточной Японии и северной части п-ова Калифорния. Это глубоководное животное (чем глубже ведется лов, тем больше средняя численность и средний размер кальмаров). Несмотря на широкое распространение, вид немногочислен: в Охотском море попался немногим более, чем в 1/4 всех проб, взятых на подходящих для него глубинах. О его биологии известно пока очень мало.

К. Н. Несис,
кандидат биологических наук
Москва

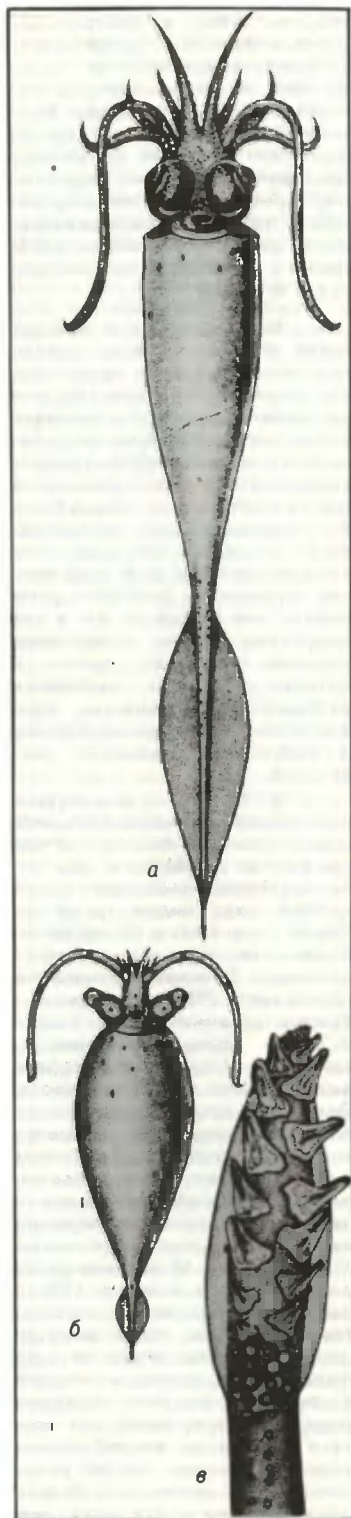
Ботаника

Самое глубоководное растение

При очередном спуске на погружаемом исследовательском аппарате в водах западной части тропической Атлантики М. М. Литтлер, Д. С. Литтлер и Дж. Норрис (М. М. Littler, D. S. Littler, J. Norris; Национальный музей естественной истории при Смитсоновском институте, США) обнаружили на глубине почти 270 м неизвестный науке вид растения.

Это макроскопическая (видимая невооруженным глазом) пурпурная водоросль, образующая нарост на коралловых постройках. Место находки — вершина еще не нанесенной на карту подводной горы, расположенной к северу от о. Сан-

Кальмар *Galiteuthis phyllura*: взрослая особь (а), молодая особь (б), булава щупальца взрослого кальмара (в).



¹ Young R. E. — Smithsonian Contr. Zool., 1972, № 97, p. 1.

Сальвадор (Багамские о-ва). Новооткрытое растение встречается здесь в изобилии. Глубина его обитания является рекордом для растений: до сих пор на глубине свыше 180 м растений наблюдать не приходилось.

Smithsonian Institution Research Reports, 1985, № 44, p. 7 (США).



Экология

Ловушка для це-це

Будучи переносчиком трипаномы (возбудителя практически неизлечимой сонной болезни), муха це-це ответственна за гибель многих людей; целых стад домашнего скота; широко распространяя это заболевание, она мешает заселению и освоению огромных просторов Африки. Борьба с це-це ведется не одно десятилетие¹, но решающей победы человек пока не одержал.

Некоторую надежду на успех вселяют работы Г. Тикубе (G. Tikube; Международный ветеринарный центр в Аддис-Абебе, Эфиопия). Руководимой им группе удалось обнаружить естественного врага це-це. Это — хищная муха, один из видов ктырей (Asilidae). Специальные ловушки, установленные исследователями в долине Финчаа (центральная Эфиопия), в течение суток захватывали до 40 особей ктыря. Обычно он питается комарами, бабочками и некоторыми другими насекомыми, но, как теперь впервые установлено наблюдениями, использует также в пищу мух це-це, попадавших в ловушку вместе с ним. Оказавшись рядом с це-це, которая по размерам втрое меньше, ктырь обхватывает ее своими длинными ногами, крепким хоботком прокалывает и убивает муху, а затем высасывает ее и при этом на всю процедуру затрачивает менее 30 с. Таким образом, по

крайней мере в центральных районах Эфиопии у це-це имеется естественный враг, но прежде чем станет возможным организовать с его помощью биологическую борьбу с це-це, предстоит очертить ареал распространения данного вида ктыря, определить его популяционную структуру, продолжительность жизни, особенности поведения и питания, экологические связи и т. д.

Еще один шаг в поисках путей борьбы с це-це сделан группой сотрудников ветеринарной службы Зимбабве. До сих пор главная трудность состояла в том, чтобы добиться сосредоточения сколько-нибудь существенного числа этих насекомых в одном месте, где их можно было бы уничтожить или стерилизовать с помощью уже известных химических средств. В ходе опытов энтомологи Зимбабве установили, что для це-це, как и для некоторых других кровососов, двуокись углерода, ацетон и октенол обладают свойствами аттрактанта — вещества, привлекающего насекомых, причем с достаточно большого расстояния.

В 1979 г. на островок, расположенный в центре большого искусственного водохранилища на границе Зимбабве и Замбии, было завезено небольшое число особей двух видов це-це — *Glossina morsitans* и *G. pallidipes*. В качестве пищи для них сюда доставили 35 голов крупного рогатого скота. Обе популяции мух быстро размножились: через 2 года здесь насчитывалось не менее 12 тыс. самок первого вида и около 4 тыс. — второго. Затем на островке установили 6 ловушек, содержащих ацетон и двуокись углерода. Хотя такое количество ловушек и представлялось первоначально незначительным, эксперимент оказался весьма успешным: численность *G. pallidipes* за 15 месяцев резко сократилась, а к июлю 1983 г. они здесь полностью исчезли. На следующем этапе эксперимента в качестве аттрактанта использовались ацетон и октенол. Смесь этих веществ оказалась наилучшей приманкой для другого вида це-це: потребовалось всего 6 месяцев, чтобы резко сократилась численность *G. morsitans*; вскоре и эта муха пол-

ностью исчезла. Попутно установлено, что названные вещества отличаются специфичностью действия и не влияют на другие организмы, встречающиеся в этом районе. Простота и дешевизна метода делают его легко применимым даже в условиях самых бедных и труднодоступных районов Африки.

New Scientist, 1984, v. 102, № 1410, p. 19; v. 104, № 1424, p. 22 (Великобритания).



Охрана природы

«Пчелиный мониторинг»

Группа американских специалистов, работающих в области экологии, предложила использовать пчел и продукты их жизнедеятельности (мед, воск, собранную пыльцу) для оценки загрязнения среды отходами промышленности, пестицидами и другими вредными веществами. В среднем площадь, которую облетают пчелы одного улья, составляет более 7 км², поэтому с их помощью можно провести анализ обширных территорий. Низкая устойчивость пчел ко многим токсичным веществам обеспечивает высокую чувствительность индикации, при этом гибель пчел служит сигналом опасности.

Загрязнители среды попадают в пчелиные ульи различными способами: частицы пыли оседают на пыльце и на поверхности тела пчел; нектар и пыльца могут быть загрязнены поступающими из почвы или абсорбированными из воздуха газообразными веществами.

Динамика проникновения и распределение химических веществ в тканях пчел пока мало изучены. Использование радиоактивной метки позволило установить, что уран, например, содержится в тканях рабочих пчел в высокой концентрации, а в сотах, тканях личинок и меда — в значительно меньшей.

С целью подтверждения своих теоретических предположений авторы работы провели практическую апробацию метода в штате Вашингтон, где боль-

¹ См., напр.: Борьба с мухой це-це. — Природа, 1979, № 6, с. 107.

шое число пчеловодов содержит пасеки как в сельской местности, так и в пригородах. В течение 2,5 месяцев — с июля по сентябрь 1982 г. — 64 пчеловода-добровольца собирали для исследования взрослых рабочих пчел, их личинок, пыльцу и мед. Сетью «пчелиного мониторинга» был охвачен район площадью 7500 км², где имелось около 130 источников загрязнения, в том числе сталеплавильный завод, химические заводы и другие крупные промышленные предприятия. В пробах определяли содержание фтора, кадмия, мышьяка, свинца, цинка и меди, после чего полученные данные наносили на карту изучаемой местности и, соединив сходные точки, строили изоплеты. Карты загрязнения тканей пчел мышьяком и кадмием оказались очень близки к картам, разработанным по результатам определения концентрации этих металлов в почве. Но при этом данные «пчелиного мониторинга» охватывали значительно большую территорию и учитывали более низкие уровни загрязнения. Полученные карты позволили определить градиенты концентраций металлов и идентифицировать их источники.

По мнению авторов работы, эксперимент показал, что пчеловодов можно эффективно привлекать к наблюдениям за состоянием среды на больших территориях.

Science, 1984, v. 227, p. 632—634 (США).

Охрана природы

Полисорбы — поглотители загрязняющих веществ

Наряду с широко известными адсорбентами (например, активными углями), применяемыми для извлечения органических веществ из сточных вод ряда предприятий химической и легкой промышленности, имеется другая группа перспективных сорбентов. Это синтетические полимерные материалы, или полисорбы. По своему составу полисорбы являются

сополимерами стирола и дивинилбензола, структура которых характеризуется высокой пористостью. Это достигается проведением полимеризации в присутствии инертного растворителя. По окончании процесса растворитель испаряется, а в полисорбе благодаря этому образуется развитая система пор. Меняя содержание исходных мономеров и инертного растворителя при полимеризации, можно синтезировать сорбенты с заранее заданными свойствами, требуемыми для очистки сточных вод определенного состава. Поверхность полимерных сорбентов химически инертна, поэтому поглощенные этими материалами вещества типа ароматических аминов, многоатомных фенолов не окисляются и не осмолняются на адсорбенте.

В. В. Подлеснюк и Т. М. Левченко (Институт коллоидной химии и химии воды им. А. В. Думанского АН УССР) комплексно исследовали строение и адсорбционные свойства выпускаемых отечественной промышленностью полисорбов различных марок.

Установлено, что существуют два вида пористости во внутренней структуре полисорбов: поры внутри сферических частиц с размерами порядка 70 нм и промежутки между этими частицами; размеры характеристических радиусов пор колеблются от 1,41 до 2,19 нм. Изучая полиадсорбцию на полисорбах органических веществ различных классов (производных бензола, алифатических спиртов, красителей, пестицидов), авторы рассчитали величины предельной адсорбции этих веществ, показав, что пористые полимерные материалы весьма эффективны для извлечения из сточных вод растворенных органических веществ. Затем они разработали и рекомендовали для внедрения на химических предприятиях технологическую схему локальной адсорбционной установки по очистке сточных вод от органических веществ. Схема предусматривает утилизацию извлеченного из сточных вод продукта и регенерацию отработанного адсорбента.

Разработанная технология опробована авторами для очистки сточных вод производства

инсектицида п-хлорбензолсульфамида. Из заводских сточных вод, используя адсорбцию на полисорбе 40/100 и регенерацию отработанного адсорбента этанолом, удалось извлечь чистый п-хлорбензолсульфамид, при этом степень очистки вод составляла 99,9 %.

Химия и технология воды, 1985, т. 7, № 1, с. 3—5; 1983, т. 5, № 3, с. 246—248; 1981, т. 3, № 4, с. 327—331.

Геология

Новая находка сульфидов в Красном море

К важнейшим научным достижениям последних лет относится открытие на дне Мирового океана отложений, богатых разными металлами — Fe, Mn, Zn, Cu, Ag и др. Металлоносные осадки приурочены к глобальной системе рифтовых зон, и образование их связано с выносом металлов из глубинных областей океанической коры и верхней мантии в составе гидротермальных растворов. Среди такого рода образований особый интерес представляют металлоносные осадки Красного моря, поскольку только там формируются рудные накопления, отвечающие требованиям, предъявляемым к кондиционным полиметаллическим месторождениям.

Основными минеральными носителями полезных компонентов в Красном море служат сульфиды, известные до последнего времени только в осадках некоторых глубоководных впадин, расположенных в центральной троговой части рифта. Однако в 1984 г. появилось сообщение о новых, неизвестных ранее проявлениях сульфидной минерализации на дне Красного моря¹. В результате драгирования дна, проведенного итальянским научно-исследовательским судном «Баннок» в северной части моря, были подняты со склонов небольшого подводного холма (координаты

¹ Episodes, 1984, v. 7, № 4, p. 34.

23°45' с. ш., 36°17' в. д.), расположенного за пределами осевого трюга на глубине от 769 до 1140 м, многочисленные обломки пиритизированных пород размером до 10 см. По мнению изучавших эти породы геологов и геофизиков, массивные сульфидные отложения приурочены к разломной зоне, которая простирается с северо-запада на юго-восток и пересекает северную часть Красного моря в направлении, параллельном трансформному разлому, протягивающемуся от Мертвого моря до залива Акаба.

Открытие новой области формирования сульфидов расширяет существующие представления о масштабах гидротермальной деятельности в Красном море и может иметь важное значение для развития тектонических и геофизических построений, а также для оценки металлоносности этого региона.

Г. А. Бутузова,
кандидат геолого-минералогических наук
Москва

Геология

Металлогения рифтовых зон

Четыре рейса научно-исследовательских судов ФРГ «Геометр» и «Гаримас», состоявшихся в 1982—1984 гг., были посвящены исследованию металлогении юго-восточной части Тихого океана в пределах плит Наска и Кокосовая. Основная задача экспедиций — установить характер взаимосвязи между подводным вулканизмом, гидротермальными процессами и образованием рудоносных отложений в зонах расширения дна. Это позволило бы определить области распространения металлоносных осадков, особенно в концентрациях, представляющих экономический интерес. Выбранные для исследования участки дна образованы в процессе спрединга (расширения дна океана), происшедшего с различной скоростью — от средней, порядка 1 см/год, до сверхбыстрой, более 10 см/год.

Выяснилось, что общий вынос металлов, в основном железа и марганца, и их содержание в осадках дна исследуемой части Тихого океана находится в прямом соответствии со скоростью спрединга. Образование же сульфидных отложений металлов — основного полезного ископаемого осевой зоны срединно-океанических хребтов — отличается неравномерностью во времени и в пространстве и обусловлено скорее определенными фазами развития рифта, чем скоростью спрединга. Большая часть сульфидных рудопроявлений, обнаруженных в восточной части Тихого океана, связана со сбросами, параллельными рифту, и пространственно приурочена к застывшим лавовым озерам. Массивные отложения сульфидов железа, меди и цинка тяготеют к тем локальным участкам, где проявляются интенсивные процессы брекчирования (раздробления) базальтов. Это, по мнению авторов, подчеркивает большую роль тектонических процессов в образовании подводных рудоносных залежей. Окисление и разрушение сульфидных построек начинается сразу же после их образования, что приводит к накоплению металлоносных осадков с примесью сульфидного материала.

Terra Cognita, 1985, v. 5, № 1, p. 50 (Франция).

Геология

Глубинные превращения земной коры

Геофизиками и геотектонистами до сих пор не до конца решена проблема: какие изменения должны претерпевать участки земной коры, погружающиеся в ходе субдукции. Неясно, например, как меняются физические и, возможно, химические свойства пород по мере погружения, ограничено ли погружение пределами верхнего слоя литосферы, или оно продолжается даже за границу между верхней и нижней мантией.

Эти вопросы изучали Д. Джигардини и Дж. Х. Вудхаус (D. Giardini, J. H. Woodhouse; Гарвардский университет, штат Массачусетс, США) на примере западной окраины Тихоокеанской плиты, расположенной в районе островной дуги Тонга, к северу от Новой Зеландии.

Установлено, что погружение этого участка земной коры идет с весьма высокой скоростью — 7 см/год. Проанализировав данные о расположении фокусов 49 землетрясений, отмечавшихся в этом районе и имевших глубину более 400 км, исследователи пришли к выводу: по мере приближения погружающейся плиты к границе между верхней и нижней мантией (670 км под поверхностью земли) плита претерпевает существенную деформацию, многократно разламываясь, укорачиваясь и приобретая большую толщину.

Избранный для изучения участок коры в районе островной дуги Тонга отличается тем, что погружение плиты идет здесь под углом 50—60°. Такой большой угол, а также высокая скорость погружения приводят к тому, что здешняя кора, будучи древней и хрупкой, тем не менее разламывается уже на значительной глубине (в других районах более молодая и пластичная кора, двигаясь под менее крутым углом, должна, разумеется, вести себя иначе).

В погружающемся блоке земной коры, который можно представить неким подобием кирпича, стоящего на торце, из-за разного давления в верхней и нижней частях возникает целая серия разломов — одних почти вертикальных, других горизонтальных. На их существование четко указывает характер распределения землетрясений, происходящих по мере погружения блока. С приближением к пределу 670 км процессы деформации, разламывания затухают, а материал блока распространяется латерально. Главный вывод авторов: погружения блока за границу верхней мантии уже не происходит. Правда, это утверждение, как признают сами авторы, основано лишь на сейсмических данных, в то время как изучаемый объект перестает быть сейсмоактивным

на границе верхней и нижней мантии. Возможно, как раз здесь давление вышележащих слоев приводит к фазовым превращениям — изменению свойств минералов, теряющих текучесть. Не исключено, что породы, лежащие ниже такой границы, имеют иной химический состав и обладают меньшей проницаемостью.

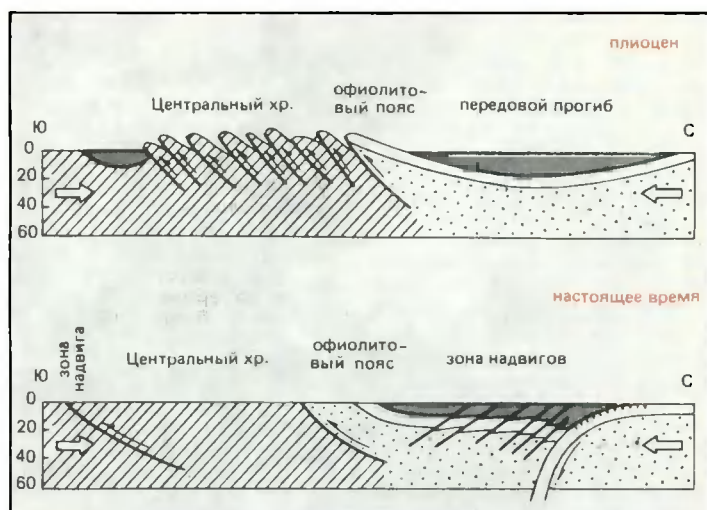
Nature, 1984, v. 307, № 5951, p. 505—509 (Великобритания).

Геотектоника

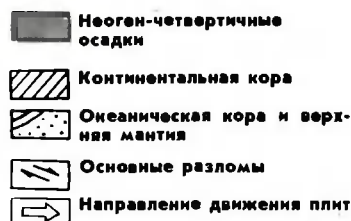
Тектоника Новой Гвинеи

Группа австралийских и индонезийских геологов, геофизиков и тектонистов, возглавляемая Д. Б. Доу и Р. Сукамто (D. B. Dow, R. Sucanto), завершила обработку результатов пятiletних исследований (1978—1982 гг.) геологического строения и истории развития Западного Ириана — индонезийской провинции, расположенной в западной половине о. Новая Гвинея. Этот труднодоступный высокогорный район долгое время оставался одним из наименее изученных на земном шаре (и это несмотря на то, что здесь голландскими альпинистами случайно было обнаружено крупное медно-золоторудное месторождение, разработка которого на высоте свыше 3 тыс. м оказалась, однако, нерентабельной). Только в 1982 г. крайний западный участок этой территории был положен на карту в масштабе 1:250 000; вся остальная часть Западного Ириана была закартирована на основе аэро- и космических снимков лишь в масштабе 1:1 000 000.

Исследования австралийских и индонезийских специалистов позволяют реконструировать возможную картину позднечайнозойского тектонического развития Западного Ириана. В позднем миоцене и плиоцене на движение края Австралийской континентальной плиты в южном направлении на Тихоокеанскую плиту вызвало сжатие, увеличение мощности коры и формирование на месте столкнове-



История развития Западного Ириана (о. Новая Гвинея).



ния двух плит современного Центрального хребта о. Новая Гвинея. В это же время образовался офиолитовый пояс Западного Ириана. По обе стороны от хребта возникли глубокие прогибы, в которых накапливались мощные осадочные толщи. Последующие тектонические движения не проявились в зоне Центрального хребта. В плейстоцене — в результате погружения Тихоокеанской плиты под северный край острова — на месте передового прогиба образовалась покровнонадвиговая чешуйчатая структура земной коры. Плиоценовые осадки в зоне надвигов подверглись сильному сжатию, что привело к формированию здесь глиняных диапиров и грязевых вулканов. Часть тектонического напряжения передается через континентальный блок в глубь островных структур и проявилась в формировании надвигов вдоль двух разломных зон, одна из кото-

рых проходит вдоль офиолитового пояса, а другая — вдоль южной окраины подвижного пояса Западного Ириана.

Тектоническая реконструкция Западного Ириана уточняет и дополняет существующие представления о строении и развитии всего Индонезийского региона, расположенного на стыке Австралийской и Тихоокеанской литосферных плит, и показывает динамику их взаимодействия на неотектоническом этапе геологической истории.

Episodes, 1984, v. 7, № 4, p. 3—9 (Канада).

Океанология

Грибовидные течения в океане

Горизонтальная циркуляция вод в океанах и морях порождается неравномерным по своей скорости и направлению ветром, воздействующим на поверхность воды. Так, неравномерностью пассатных ветров, ослабевающих вблизи экватора, известный советский океанолог В. Б. Штокман еще в 1946 г. теоретически объяснил существование на поверхности океана экваториальных противотечений, имеющих струйный характер. Но какова будет форма возникших



Грибовидная структура в поле взломанного и таящего припайного льда в зал. Камчатский. Фрагмент снимка, полученного с искусственного спутника Земли «Метеор» 3 апреля 1983 г. [Фото из: Исследования Земли из космоса, 1984, № 3, с. 20.]

течений, если на неподвижную поверхность океана ветер или иной возбуждающий движение фактор воздействовал лишь в очень ограниченной области и только непродолжительное время? На такой вопрос ответа до сих пор не было.

А. И. Гинзбург и К. Н. Федоров (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР), изучая космические снимки поверхности океана, обнаружили, что под влиянием поверхностных течений плавучий лед, цветущий планктон, частицы взвеси и даже тепло образуют

структуры, напоминающие гриб шампиньон в разрезе. Узкая струя, как правило, заканчивалась «шляпкой», состоящей из двух плоских вихрей с противоположным направлением вращения, расположенных симметрично по правую и левую сторону струи. Такая форма течений оказалась столь типичной, что им было дано название грибовидных течений, а их видимые проявления на поверхности воды стали называть грибовидными структурами. Размеры течений — от нескольких до 200 км, а время жизни — от 2—3 до 7—10 дней. Анализ особенностей возникновения и эволюции грибовидных структур показал, что такие течения связаны с соблюдением условия неразрывности в тонком стратифицированном по плотности приповерхностном слое воды при возбуждении в нем движения за счет локального и кратковременного импульса. При этом импульс может иметь различную природу: ветровое воздей-

ствие, интенсивное таяние льда, речной сток в океан, водообмен через проливы, неустойчивость океанических вихрей и фронтальных разделов (возможно, что в последнем случае грибовидные течения возникают наиболее часто).

Сочетание струи с двумя вихрями в единой грибовидной структуре — весьма универсальная, по-видимому, форма нестационарного движения, позволяющая удовлетворить сложным условиям, когда на ограниченную поверхность воды воздействуют несколько разнонаправленных импульсов. В этом случае наблюдается плотная «упаковка» взаимно перпендикулярных грибовидных структур, при которой каждая пара имеет общий вихрь. Грибовидные течения обладают очень быстрой начальной фазой развития, следующей непосредственно за импульсом и длящейся в природе около суток. Скорость течения в струе достигает при этом 1 узла. Затем наступает длительная фаза затухания, во время которой размеры грибовидной структуры остаются неизменными, а скорости течений внутри нее постепенно спадают до нуля.

Грибовидные течения обладают мощным деформационным полем и образуют на своих границах резкие океанические фронты. Повышенные концентрации примесей и поверхностно-активных пленок на этих фронтах делают грибовидные структуры заметными на изображениях, полученных со спутников в видимом диапазоне спектра. Наблюдения за грибовидными течениями позволяют заключить, что они не являются случайным проявлением полей двумерной турбулентности в океане, а представляют собой когерентные (упорядоченные) гидродинамические структуры.

Перечисленные особенности динамики и кинематики грибовидных течений удалось проверить в лаборатории. В настоящее время в Институте океанологии разрабатывается теория грибовидных течений.

Океанология

Куда движутся воды через Гибралтарский пролив!

Завершена обработка данных международной океанологической экспедиции, которая в июне — октябре 1982 г. вела исследования в Альборанском море, омывающем юг Пиренейского п-ова и северное побережье Марокко. В этой комплексной экспедиции, получившей название «Donde va?» (в перев. с исп. — «Куда движется?»), принимали участие сотрудники ряда научных учреждений Испании, Франции, ФРГ и США, использовались четыре научно-исследовательских судна и четыре самолета-лаборатории, данные американских метеорологических спутников, а также космические снимки.

Как теперь установлено, в Альборанское море через Гибралтарский пролив направляется узкий (от 10 до 30 км) поток, который ежесекундно приносит в Средиземное море $1,4 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ слабосоленых (менее $36,5 \text{ ‰}$) атлантических вод. В то же самое время под этим потоком и навстречу ему движется меньший поток средиземноморских вод, отличающихся высокой соленостью (38,5 ‰). Именно это двухслойное разнонаправленное течение и поддерживает водный и солевой баланс Средиземного моря (потери влаги в процессе его испарения существенно превышают сток всех впадающих в него рек и количество выпадающих над ним осадков).

Вопреки ожидаемому, атлантические воды, пройдя Гибралтар, не поворачивают вправо к побережью Марокко, а движутся к берегам Испании, где вовлекаются в охватывающий весь этот бассейн антициклональный круговорот, хорошо прослеживаемый на космических снимках, сделанных в инфракрасной части спектра. Обнаружено также существование направленных к центру круговорота языков более холодной воды; они протягивались в длину на 10—20 км, занимая

по вертикали по меньшей мере 100 м.

Аэрозъемка показала, что высота волн в холодной части моря меньше, чем в теплой. Существование в Гибралтарском проливе на резкой границе вод различной плотности нелинейных внутренних колебаний большой амплитуды было известно и ранее. Сейчас установлено, что эти колебания, поступательно распространяющиеся на восток, часто образуют в Альборанском море упорядоченные группы короткопериодных (около 30 мин) крутых волн. С этими внутренними волнами могут быть связаны скорости горизонтальных движений воды на поверхности, достигающие 50 см/с.

Часть работ экспедиция провела в Кадисском заливе, у Атлантического побережья Испании. Гидрографические наблюдения позволили уточнить, что атлантические воды здесь интенсивно движутся в сторону Гибралтара, а встречный средиземноморский поток перемещается по пяти подводным каньонам, прорезающим дно иберийского континентального склона, и перемешивается с окружающими водными массами. В этом районе также обнаружено несколько интенсивных круговоротов. Измеренная у мыса Сан-Висенти (юго-западная оконечность Португалии) скорость движения атлантических вод составила менее 10 см/с.

Eos (Transactions of the American Geophysical Union), 1984, v. 65, № 36, p. 682—683 (США).

дения воды — Анхель, находящийся в Венесуэле (1054 м, самый высокий в мире), а по объему падающей воды — Ниагарский (высота 45 м, ширина 1,4 км).

На широтном разрезе, выходящем из Бассова пролива в сторону Тасманова моря, в сентябре 1984 г. австралийские океанологи вели экспедиционные работы с научно-исследовательского судна «Кук». Установлено, что в проливе формируются специфические водные массы, которые, двигаясь к востоку, в Тасманово море, обрушиваются вдоль континентального склона на глубину по крайней мере 600 м. В толще вод Тасманова моря воды Бассова пролива распадаются на несколько ветвей, которые зарегистрированы на глубинах 200, 400 и 500 м. Хотя скорость движения вод вдоль континентального склона еще не измерена, очевидно, что она довольно высока. По крайней мере опускающаяся водная масса активно размывает склон, препятствуя накоплению там осадочного материала.

Таким образом, открытый у берегов Австралии «водопад» по высоте и объему низвергающейся воды может быть отнесен, если бы находился на суше, к разряду крупнейших водопадов мира.

Marine Studies (Bulletin of the Marine Studies Centre, University of Sydney), 1985, v. 3, № 3, p. 9 (Австралия).

Палеонтология

Насекомые мелового периода на территории Европы

За последние 30 лет собраны значительные коллекции насекомых мелового периода (133—66 млн лет назад), ранее почти неизвестных. Однако большая часть находок происходит с территории Азии, в основном из пределов Сибирской палеобиогеографической области. Насекомые же предыдущего, юрского периода известны главным образом из Европско-Синийской области, отличающейся более теплым климатом.

Океанология

Крупнейший «водопад» мира

Новый вид «водопада» описал австралийский океанолог Б. Скотт (B. Scott; Центр морских исследований Сиднейского университета, Австралия). Он сравнивает океанографические процессы, которые протекают в Бассовом проливе, разделяющем Австралию и Тасманию, с крупнейшими водопадами суши. Среди последних, как известно, лидируют по высоте па-

Поэтому оценить масштабы изменений, произошедших среди насекомых на рубеже юры и мела, было очень трудно. Сейчас ситуация меняется: советскими палеонтологами подробно изучена юрская энтомофауна Сибирской области¹, а западноевропейские специалисты изучают раннемеловую фауну Англии и Испании. В этом направлении работают в основном палеонтологи Британского музея естественной истории Э. Яжембовски и П. Уолли, недавно описавшие интересную энтомофауну местонахождения Монтсеч, расположенного в Северной Испании (провинция Лерида)².

По составу энтомофауны Монтсеча сильно отличается от ранее изученных меловых фаун. Особенно необычно выглядит комплекс водных насекомых, среди которых численно преобладают нимфы роющих поделок семейства *Palingeniidae* и личинки мух; такая структура доминирования неизвестна ни в каких других мезозойских фаунах. (Следует отметить, что отнесение авторами мух из Монтсеча к современным семействам *Stratiomyidae* и *Sciomyzidae* чрезвычайно сомнительно.) Однако энтомофауна Монтсеча небогата и потому недостаточно показательна. В настоящее время Э. Яжембовски изучает значительно более разнообразную фауну нижнемеловых толщ Англии, известных под названием вельдских. Первые сообщения о наличии в вельдских отложениях остатков насекомых появились еще в середине прошлого века, но до сих пор отсюда описано лишь несколько видов. По предварительным данным Э. Яжембовского³, вельдские энтомофауны весьма богаты: местами остатки насекомых образуют скопления, в одном из

которых на площади 50 см² удалось насчитать 385 экземпляров.

Подавляющее большинство этих остатков принадлежит наземным насекомым, среди которых на первом месте стоят разнообразные жуки, а на втором — тараканы. Среди связанных с водой насекомых преобладают стрекозы. Общий облик фауны указывает на теплый (возможно, субтропический) климат Англии в вельдское время. Об этом свидетельствует как обилие теплолюбивых (например, тараканов), так и малочисленность относительно холодолюбивых насекомых (например, пилильщиков). Наиболее интересна находка описанного Э. Яжембовским термита *Valditermes brevipalpis* — самого древнего из известных в настоящее время общественных насекомых.

Следует ожидать, что дальнейшее изучение вельдских насекомых принесет очень интересные результаты, особенно для оценки изменений органического мира на рубеже юры и мела.

В. В. Жерихин,
кандидат биологических наук
Москва

Археология

Советско-монгольские археологические исследования

Недавние открытия нижнепалеолитических памятников в Северной и Восточной Азии вновь поставили проблему маршрутов, которыми древнейшие представители гоминид двигались с юга на север. В соответствии с этим были приняты новые планы исследования археологических памятников каменного века Монголии. Комплексной советско-монгольской историко-культурной экспедицией АН СССР и АН МНР. Они предусматривают тщательное обследование всей территории Монголии, а затем стационарные раскопки ряда опорных памятников, которые станут ос-

новой для стратиграфических и иных привязок огромного количества так называемого подвального материала (т. е. находок на поверхности земли). Результаты будут сведены в капитальный многотомный труд «Каменный век Центральной Азии».

А. П. Деревянко, Д. Дорж, В. П. Алексеев и В. Е. Ларичев сообщают об итогах первого сезона исследований по новой программе, проходивших на территории Монгольского Алтая. Авторы выделяют три основных района находок. Для первого района — Сагсайской котловины — характерны в основном кратковременные стоянки с преобладающими на них мелкими каменными изделиями. Второй район расположен главным образом в долине р. Кобдо. Исключительное обилие каменных орудий и заготовок, казалось бы, наводит на мысль о какой-то гигантской мастерской древности, однако и здесь встречаются местонахождения типа охотничьих стоянок. Возможно, именно в этом районе располагалась одна из тех базовых областей, откуда происходило постепенное расселение человека по Центральной Азии и югу Сибири. Третий район — сомон¹ Монхан, где обнаружено около полутора десятков памятников эпохи камня, причем некоторые из них, как и в долине р. Кобдо, можно предварительным датировать нижним палеолитом.

Отряд обследовал также древние писаницы в районе Хуг-Эрэг и в известной пещере Хойт-Цэнкэр-агуй.

Известия Сибирского отделения АН СССР, 1984, № 14. Серия истории, филологии и философии, вып. 3, с. 37—41.

¹ Сомон — название принятой в МНР административно-территориальной единицы, входящей в состав аймаков.

¹ Юрские насекомые Сибири и Монголии (Тр. Палеонтол. ин-та АН СССР, т. 211). М., 1985.

² Jarzembowski E., Whalley P.— Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.), Geology, 1985, v. 38, № 5, p. 381.

³ Jarzembowski E.— Modern Geology, 1984, v. 9, p. 71; New Scientist, 1984, v. 104, № 1425, p. 19.



Современная картина нашего Млечного Пути

Ю. Н. Ефремов,
доктор физико-математических
наук
Москва



Л. С. Марочник, А. А. Сучков.
ГАЛАКТИКА. М.: Наука, Гл. ред.
физ.-мат. лит.-ры, 1984, 392 с.

Солнце и все звезды, как видимые глазом, так и доступные только телескопу, принадлежат к гигантской звездной системе — Галактике. Большинство этих звезд сконцентрировано в диске с диаметром примерно в 150 000 световых лет; Солнце находится почти точно в плоскости этого диска, и направленный вдоль нее луч зрения встречается с мириадами звезд, сливающихся в светлой полосе Млечного Пути. Уже первый телескоп Галилея разделил нашу Галактику, или Млечный Путь, на звезды, но всего 60 лет назад Э. Хаббл доказал, что ближайшие спиральные туманно-

сти — а с ними и миллионы крошечных спиральных и эллиптических туманностей — являются гигантскими звездными системами, подобными нашей Галактике. Она перестала быть всеохватывающей звездной вселенной и заняла свое место в ряду себе подобных — галактик с маленькой буквы.

Исследование галактик в последнее десятилетие выдвигается на передний край астрономии. Происхождение и эволюция звезд в основных чертах уже поняты, и это, конечно, важнейшее достижение науки середины XX века. Изучение крупномасштабной структуры Вселенной необходимо для решения космологической проблемы — проблемы начальных стадий расширения Вселенной и даже ее происхождения, которая сейчас становится общей задачей и для астрофизики и для физики элементарных частиц. Ее решение принесет и понимание происхождения галактик, но для этого необходимо знание их эволюции, опирающееся на теорию звездной эволюции и данные о структуре и динамике звездных систем.

Только для нашей Галактики мы способны получить необходимые детальные сведения о населяющих ее звездах, звездных скоплениях и газопылевых облаках. Опираясь на эти данные, мы можем изучать и другие системы. Исследование нашего острова в океане Вселенной интересно, конечно, еще и потому, что это наш дом. Знание характеристик Галактики оказывается необходимым для понимания происхождения Солнечной системы и, может быть, нас самих.

Книга сотрудника Института космических исследований АН СССР Л. С. Марочника и заведующего кафедрой астрофизики Ростовского университета А. А. Сучкова посвящена в первую очередь крупномасштабным характеристикам Галактики — ее структуре, кинема-

тике и динамике, химическому составу, а также теоретической интерпретации наблюдательных данных.

Богатая газом спиральная галактика с продолжающимся звездообразованием, к каким относится и Млечный Путь, — предельно сложная астрономическая система. «Разнообразие населяющих ее объектов, — пишут авторы книги, — поражает воображение. В первую очередь это различные звезды, дающие основной вклад в наблюдаемую (это очень важно подчеркнуть. — Ю. Е.) массу Галактики. В гало находятся шаровые звездные скопления, в диске — рассеянные скопления; здесь же находятся пульсары, инфракрасные, рентгеновские и гамма-источники, межзвездный газ в различных формах, пыль, магнитные поля, космические лучи. Все эти компоненты представляют собой не механическую смесь разнородных объектов, а образуют в каком-то смысле единый, «живой» организм. Звезды рождаются из облаков межзвездного газа и пыли и, в свою очередь, поставляют газ и пыль в межзвездную среду... Различные компоненты Галактики образуют сложную, многоуровневую систему, которая живет и развивается как целое по своим законам», — пишут Л. С. Марочник и А. А. Сучков во введении (с. 14). Изучение этих законов является делом звездной астрономии, а вывод их из физических принципов — задача астрофизики.

Проводимое авторами сравнение Галактики с живым организмом представляется достаточно глубокой аналогией; единственно, чего уж точно нет у галактик, — это способности к самовоспроизводству. Взаимосвязанность в пространстве, взаимообусловленность во времени и само количество единичных элементов галактики — звезд и газо-пылевых облаков — сравнимы с наблюдаемыми у многоклеточных организмов. Те-

орию, объясняющую происхождение галактической структуры, — говорят авторы, — можно в принципе построить, исходя из фундаментальных законов, но прежде необходимо изучить «анатомию» и «физиологию» нашей звездной системы. И в этом, пишут они, «прогресс в равной степени зависит от усилий теоретиков, наблюдателей и тех, «кто соединяет теорию с наблюдениями, чье имя — астрономы»» (с. 15).

Последние слова в приведенной выдержке — это цитата из известного американского астронома А. Кинга, однако полностью она звучит так: «Главная задача стоит перед теми, кто получает выводы, соединяя теорию с наблюдениями; имя им — астрономы». Авторы считают, что наблюдения, теория и интерпретация наблюдательных данных (т. е. соединение теории и наблюдений) одинаково важны; можно, однако, согласиться с Кингом в том, что интерпретация играет особую роль в астрономии. Осмысление бесчисленного количества наблюдательных данных на основе физической теории, попытка понять, как устроена и как эволюционирует Галактика, и составляет главную задачу рецензируемой книги.

В первой главе рассматриваются проблемы возраста и химического состава звезд, поразному распределенных в Галактике. Эти проблемы неразрывно взаимосвязаны еще с 40—50-х годов, когда стало ясно, что молодые звезды с нормальным (близким к солнечному) содержанием тяжелых элементов концентрируются к галактической плоскости, а звезды сферической составляющей, которые на порядок или два беднее тяжелыми элементами, стары, движутся вокруг центра по хаотичным ориентированным вытянутым орбитам.

В книге излагаются представления об эволюции газовой протогалактики, в рамках которых удается понять связь между возрастом звезд, их химическим составом и характером орбит, по которым они движутся. Существующая на сегодня картина происхождения различных поколений звезд состоит в том, что образующиеся из газа звезды, взрываясь как Сверхновые,

обогащают межзвездную среду тяжелыми химическими элементами. Из этого нового материала рождается следующее поколение звезд и т. д.

Важные штрихи в эти представления внесены А. А. Сучковым, который одним из первых пришел к выводу, что процесс образования звезд в Галактике шел не непрерывно, а дискретно. Согласно созданной им картине, между образованием звезд в сферической составляющей Галактики (гало) и аналогичным процессом в газовом диске Галактики существует интервал в несколько миллиардов лет, в течение которого шел процесс обогащения межзвездной среды тяжелыми элементами.

На этой активной стадии эволюции Галактики взрывалось необычно много Сверхновых, нагревавших окружающий газ (может быть, частично выметавших его за пределы Галактики) и освобождавших тяжелые элементы. Светимость Галактики была намного больше, чем сейчас, и она выглядела, очевидно, как квазар.

Отсутствие непрерывного перехода от гало к диску Галактики подтверждается многими данными. Авторы, однако, идут дальше, и лейтмотивом двух следующих глав, посвященных галактическому гало и диску, являются разбиваемые А. А. Сучковым и его сотрудниками представления о том, что помимо больших различий (по возрасту, химическому составу, кинематическим характеристикам) между гало и диском, существуют подобные же, но более слабо выраженные различия внутри диска и внутри гало, так что надо выделять четыре составляющие Галактики. Данные о других галактиках также свидетельствуют о возможности такой картины. Этой концепции нельзя отказать в целостности и убедительности, хотя она и не имеет (пока?) всеобщего признания.

Таким образом, намечается существенное изменение наших представлений об эволюции Галактики, сравнимое с тем, которое мы пережили недавно в отношении крупномасштабной структуры Галактики. О нем рассказывается в четвертой главе. За последние 10 лет оценки

массы Галактики возросли на порядок (до $2 \cdot 10^{12}$ масс Солнца), в несколько раз увеличились и ее размеры. Парадокс состоит в том, что носители этой массы до сих пор не обнаружены. В результате на смену периоду понимания, вроде бы достигнутого в 50—60-е годы, пришла эпоха сомнений.

Это касается и некоторых классических проблем динамики Галактики, рассматриваемых в пятой главе, в особенности проблемы релаксации, к которой авторы возвращаются неоднократно. Она состоит в том, что равновесное распределение звезд по скоростям должно было бы установиться уже вследствие сближений звезд друг с другом. Однако этот процесс требует очень большого времени — 10^{14} лет, что на четыре порядка больше возраста нашей звездной системы. Некоторые данные, в частности рост дисперсии скоростей звезд с увеличением их возраста, указывают, однако, что равновесное состояние могло быть достигнуто за гораздо более короткое время, например, за счет взаимодействия звезд с гигантскими молекулярными облаками и звездными комплексами, которых много в Галактике. Л. С. Марочник и А. А. Сучков указывают и другую возможность: более старые звезды от рождения могли иметь большую дисперсию скоростей, ибо родились (в процессе сжатия Галактики) в более толстом слое газа. Другими словами, релаксации, может быть, и не было!

Шестая, последняя глава посвящена проблеме спиральной структуры Галактики, в понимание которой оба автора внесли важный вклад. Согласно современным представлениям, созданным американскими исследователями Ц. Лином и Ф. Шу, спиральный узор — это волна плотности, вращающаяся по диску Галактики с постоянной угловой скоростью. В рамках этих представлений авторами книги предложена новая модель.

Скорость вращения спирального узора, полученная Л. С. Марочником и А. А. Сучковым из теоретических соображений, находится в хорошем согласии с результатами, полученными в Государственном астро-

номическом институте им. П. К. Штернберга. При этом оказывается, что Солнце находится близ того расстояния от центра Галактики, на котором скорость вращения звезд и газа вокруг центра равна скорости вращения спиральной волны плотности.

Это может означать, что Солнце лишь однажды — при рождении — побывало в спиральном рукаве. Л. С. Марочник отмечает, что это обстоятельство имеет особое значение для понимания происхождения Солнечной системы и самой жизни на Земле. Спиральные рукава, благодаря повышенной плотности газа, являются областями интенсивного образования звезд (они выделяются на фотографиях других галактик как области повышенной плотности молодых звезд высокой светимости), и стационарные условия, необходимые для развития жизни, не могут сохраняться на планете, проходящей через спиральный рукав, насыщенный горячими звездами, вспыхивающими сверхновыми и т. д.

В целом надо сказать, что Л. С. Марочник и А. А. Сушков написали очень полезную, хотя и трудную для чтения книгу. Принципиально важные ее выводы, к сожалению, часто запряты среди описания многочисленных конкретных работ. Но это отчасти объясняется тем, что книга вышла в трудное для галактической астрономии время «разброда и шатаний», пересмотра положений, которые казались надежно установленными. Огромный объем нового материала, полученного за последнее десятилетие, только начинает выливаться в новую картину Галактики, которая впервые строится в этой книге.

Авторов этой монографии иногда упрекают в чрезмерном внимании, которое они уделяют в ней своим работам. Однако, по мнению рецензента, моральный долг исследователя, получившего важный результат, состоит в максимально широком оповещении об этом. Любый специалист может сказать, важен данный вывод или нет, но для того, чтобы проверить, верен ли он, нужно, прежде всего, чтобы он был известен. А выводы авторов книги «Галактика» очень важны!

Необходимо признаться, что рецензента раздражала плохая бумага, шрифт с уродливо узкой буквой «ч» и обороты типа «результат о», встречающиеся в книге; некоторое количество опечаток не исправлено.

К достоинствам же книги необходимо добавить, что, захватывая крайне широкий круг проблем, от эволюции звезд до космологии, она может служить прекрасным справочником, заканчиваясь библиографией, содержащей более 800 работ.

Было бы крайне желательно, чтобы после специальной авторы написали популярную книгу о звездной системе, которую мы оспаривали своим в ней существованием.

Первая книга о Р. Гуке на русском языке

С. Р. Филонович,
кандидат физико-математических наук
Москва



А. Н. Боголюбов. РОБЕРТ ГУК (1635—1703). Под ред. С. Н. Коженикова. М.: Наука, Науч.-биогр. сер., 1984, 240 с.

В июле 1985 г. исполнилось 350 лет со дня рождения Роберта Гука, одного из

крупнейших естествоиспытателей XVII в. В преддверии юбилея в нашей стране вышла в свет книга об этом замечательном ученом. Ее автор — член-корреспондент АН УССР А. Н. Боголюбов, перу которого принадлежит много работ, посвященных истории математики, механики и физики.

Имя Гука по праву стоит в одном ряду с именами таких выдающихся ученых XVII в., как Р. Бойль и Х. Гюйгенс. Однако если о жизни и творчестве Бойля и Гюйгенса написано немало книг, то биографическая литература о Гуке довольно бедна: до появления рецензируемой книги имелась только одна современная и подробная его биография, написанная австралийской исследовательницей М. Эспинасс¹. При этом нельзя сказать, что об отдельных аспектах творчества Гука писалось мало. В качестве примеров можно указать прекрасные работы Ф. Сенторе о вкладе Гука в развитие механики, А. Холла о «Микрографии», Т. К. Райнова об экспериментальном методе Гука². Замечания и соображения о Гуке и его творчестве рассыпаны по множеству работ, в которых рассматриваются проблемы научной революции XVII в. С чем же связана диспропорция в характере публикаций об этом ученом?

Дело в том, что Гук — удивительно разносторонний исследователь, занимавшийся физикой и прикладной механикой, астрономией и биологией, географией и геологией; кроме того, на протяжении многих лет он был профессором геометрии и работал как профессиональный архитектор. Исключительно широкий диапазон интересов Гука сильно затрудняет анализ его творчества в целом — отсюда

¹ Espinasse M. Robert Hooke. L., 1956.

² Centore F. F. Robert Hooke's contributions to mechanics. The Hague, 1970; Hall A. R. Hooke's micrographia, 1665—1965. L., 1966; Райнов Т. К. Роберт Гук и его трактат об экспериментальном методе. — В кн.: Научное наследство. М. — Л., 1948, т. 1.

и малое число публикаций общего характера. Таким образом, автору рецензируемой книги предстояло дать широкую картину достижений ученого в далеких друг от друга областях естествознания, учитывая результаты большого числа частных историко-научных работ, посвященных Гуку и его времени.

В решении этой задачи автор опирался на традиции, накопленные серией «Научно-биографическая литература». Одна из лучших традиций этой серии — анализ жизни и деятельности ученых на фоне исторических событий соответствующей эпохи. Кроме того, в книгах серии принято устанавливать связи между творчеством ученого и социальными условиями, в которых он работал.

Гук жил в сложную историческую эпоху. Казнь Карла I, правление Кромвеля, реставрация Стюартов, приход к власти Вильгельма III Оранского — вот далеко не полный перечень событий из истории Англии периода буржуазной революции, которые пришлось пережить Гуку. Не менее важные события происходили в это время и в науке. Когда Гук был еще ребенком, вышла в свет знаменитая книга Галилея «Беседы и математические доказательства» (1638), во времена его молодости появился труд Бойля «Химик-скептик» (1661). Будучи уже зрелым ученым, Гук читал только что изданные «Маятниковые часы» (1673) и «Трактат о свете» Гюйгенса (1690), «Математические начала натуральной философии» И. Ньютона (1687). При активном участии Гука шел процесс формирования и становления Лондонского Королевского общества, он участвовал в строительстве и оснащении Гринвичской обсерватории и т. д. Одним словом, как справедливо отмечает А. Н. Боголюбов, событий в жизни Гука хватило бы на десятилетия. Во введении и первых главах показано, что многие особенности судьбы Гука обусловлены спецификой его эпохи.

В последующих главах описываются и обсуждаются отдельные труды Гука и дается обзор основных направлений его творчества. Автор удачно начал

эту часть со знаменитой «Микрографии» (1665), хотя до ее выхода в свет Гуком было уже опубликовано много работ. Дело в том, что «Микрография» — произведение междисциплинарное. В ней можно найти рассуждения, касающиеся природы света и цветов, описания метеорологических приборов, рассказ о микроскопических наблюдениях множества объектов органического и неорганического происхождения и даже данные астрономических наблюдений. Это прекрасно отражает широту интересов Гука и задает тон последующему изложению.

В целом читатель получает объемное представление о многогранной деятельности ученого. Однако нельзя не отметить, что изложение материала в некоторых случаях страдает излишней репрезентативностью. В тексте не всегда можно найти авторскую (современную) оценку результатов, полученных Гуком. Это касается, в частности, описания некоторых опытов по механике.

Иногда результаты Гука изложены не совсем точно. Так, на с. 110 читаем: «Впоследствии Гук пытался развить свою идею, утверждая, что подобные соотношения существуют и в других областях естественных наук: иными словами, геометрическое возрастание одной величины является функцией арифметического возрастания другой». Читатель может подумать, что речь идет об экспоненциальной функции, играющей важную роль в естествознании. Однако из сказанного чуть ниже ясно, что автор подразумевает «полет пули и стрел, бросок пращи... а также падение тел». Тут же приводится цитата из работы Гука: «Если некоторое тело движется с одной степенью скорости, то при определении количества силы это тело потребует в четыре раза больше силы для того, чтобы двигаться с удвоенной скоростью, и девятикратной силы, чтобы двигаться с утроенной скоростью, и при шестнадцатикратной силе — четырехкратная скорость и так далее». Отсюда следует, что

Гук говорил о квадратичной зависимости величин, а вовсе не об экспоненциальной.

Особенности развития науки в Англии во второй половине XVII в. невозможно понять без обращения к творчеству и биографии Ньютона. Поэтому естественно, что на страницах книги часто встречается имя автора «Начал». Значительное место в ней уделено рассказу о спорах между Гуком и Ньютоном по разным научным и приоритетным вопросам. В частности, весьма полно освещена в настоящее время хорошо исследованная историками науки (А. Койре, А. Холл и др.) контраверза Гук — Ньютон, связанная с установлением закона всемирного тяготения. В то же время проблема, ставшая предметом первого научного столкновения этих ученых — природа света и цветов, проанализирована (в главе «Оптика»), на наш взгляд, недостаточно полно.

История этой дискуссии «со стороны» Ньютона подробно описана в известной книге С. И. Вавилова «Исаак Ньютон» и ряде других. Можно было бы ожидать, что в рецензируемой книге при изложении знаменитого спора о природе света основное внимание будет уделено взглядам Гука. К сожалению, это ожидание не оправдывается. Точка зрения Гука представлена предельно кратко (две цитаты из его произведений, относящиеся к этой теме, можно найти лишь в главах «Микрография» и «Механика»). В то же время глава «Оптика» переполнена цитатами из Ньютона: в одном случае отрывок из его работы занимает две (!) страницы сплошного текста, в другом — одну.

Гук жил в эпоху, когда начался процесс институализации науки, выразившийся, прежде всего, в образовании научных академий. В Англии такой академией стало Лондонское Королевское общество, на многие десятилетия определившее пути развития английской науки. А. Н. Боголюбов описывает работу Гука как одного из немногих должностных лиц этого Общества — куратора экспериментов — и справедливо подчеркивает ее большое значение.

Досадно, что в книге имеются неточности. Многие из них можно было бы, по-видимому,

устранить в процессе редакционно-издательской подготовки. Встречаются неverified иностранные собственные имена; перевод названия знаменитого труда Ньютона ("Philosophiae naturalis principia mathematica") дан в нескольких вариантах (с. 14, 126, 135), из них только в одном случае употреблено общепринятое — «Математические начала натуральной философии». Встречаются неточности и в переводах приводимых цитат. Например, на с. 175 говорится о «конденсации воздуха», хотя техника времен Гука не по-

зволяла осуществить этот процесс, а слово "condensation" в контексте означает «сгущение», т. е. повышение плотности.

Число подобных примеров можно было бы увеличить. При этом погрешности касаются иногда принципиальных моментов. Так, видимо по недоразумению, связанному с неточным переводом, на с. 13 книги утверждается, что «закон Гука устанавливал пропорциональность напряжения и силы». Между тем закон Гука связывает величины напряжений и деформаций упругих тел.

Но все это не заслоняет главного. Выход в свет первой книги о Гуке на русском языке — определенно положительное событие. Ее появление, можно надеяться, вновь привлечет внимание советских исследователей к творчеству замечательного ученого-универсала. Возможно, оно стимулирует и подготовку перевода на русский язык «Микрографии» Гука — произведения, которое, безусловно, заслуживает быть опубликованным в серии «Классики науки».

НОВЫЕ КНИГИ

Астрофизика

П. Девис. СЛУЧАЙНАЯ ВСЕЛЕННАЯ. Пер. с англ. В. Е. Чертопрада под ред. А. Г. Дорошкевича. М.: Мир, 1985, 160 с., ц. 40 к.

На страницах этой книги известный английский астрофизик и популяризатор науки пытается дать ответ на, казалось бы, несколько парадоксальный вопрос: случайна ли по своей природе наблюдаемая Вселенная? Последовательно проанализировав основные силы природы и макро- и микроструктуры наблюдаемой Вселенной (от галактик до атомных ядер и кварков), автор обращает внимание на то, что все это многообразие структур очень чувствительно к значениям фундаментальных физических постоянных.

Совпадения больших чисел, связывающих различные фундаментальные постоянные, поразили еще полвека назад таких выдающихся физиков, как А. Эддингтон и П. Дирак. Ведь если бы природа «выбрала» несколько иной набор чисел, то мир был бы совершенно другим. Так, химический состав Вселен-

ной весьма чувствителен к значениям постоянных сильного и слабого ядерных взаимодействий. Будь гравитация чуть слабее, не образовались бы планеты. Не исключено, что не было бы человека и некому было бы познавать Вселенную.

Отсюда естественным образом вытекает вывод, что многие наблюдаемые во Вселенной системы — следствие чрезвычайно маловероятных совпадений. «Почему же из бесконечной области всевозможных значений фундаментальных постоянных и из бесконечного разнообразия начальных условий, которые могли бы существовать в ранней Вселенной, реализуются величины и условия, приводящие к вполне конкретному набору весьма специфических особенностей, которые мы и наблюдаем?» — задает себе вопрос автор. И отвечает на него в духе идеи так называемого антропного принципа. «Эта идея», говорится в книге, — призвана связать основные особенности мира с существованием человека как наблюдателя. У истоков этого принципа стоял такой великий физик, как Больцман. А в последние годы к антропному принципу вновь обратился ряд выдающихся ученых».

Книга рассчитана на широкий круг читателей и в равной степени адресована как ученым, так и неспециалистам, интересующимся наукой.

Геофизика

Ю. Г. Мизун. ИОНОСФЕРА ЗЕМЛИ. Отв. ред. Н. П. Бенькова. М.: Наука, Науч.-пол. сер., 1985, 158 с., ц. 60 к.

Сотрудник Полярного геофизического института Ю. Г. Мизун известен своими научно-популярными книгами «Полярные сияния» (М.: Наука, 1983) и «Космос и здоровье» (М.: Знание, 1984). Свою новую книгу он посвятил ионосфере — ближайшей к Земле плазменной оболочке, той области околоземного космического пространства, через которую осуществляются солнечно-земные связи. В девяти небольших главах автор рассказывает, как ионизирующее солнечное излучение, проходя сквозь земную атмосферу, формирует ионосферу, каковы ее свойства и как они меняются в зависимости от времени суток, сезона, широты места, солнечной и геомагнит-

ной активности. Особое внимание уделено свойствам полярной ионосферы, исследованием которой автор занимается уже больше двадцати лет. По словам автора, полярная ионосфера служит своеобразным экраном, на котором видно, как трансформируются проникающие в высокоширотную атмосферу потоки заряженных частиц солнечного происхождения. Потоки эти вызывают здесь полярные сияния, геомагнитные бури, нарушают радиосвязь на больших территориях.

Ионосфера, открытая в начале нашего века с помощью радиоволн, и по сей день изучается, главным образом, радиоволнами. Автор знакомит читателя с различными условиями распространения волн в ионосфере, а также с методами исследования ионосферы. Это и вертикальное зондирование с Земли, и зондирование ионосферы со спутников, и наклонное зондирование, и, наконец, наиболее информативный и вместе с тем самый сложный и дорогостоящий метод изучения ионосферы — метод некогерентного рассеяния радиоволн.

Заключительную главу книги автор посвятил проблеме влияния ионосферы на погоду нашей планеты.

Биология

П. И. Мариковский. ЖИВОТНЫЕ ПРЕДСКАЗЫВАЮТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ. Отв. ред. Е. В. Гвоздев. Алма-Ата: Наука, 1984, 144 с., ц. 45 к.

Автор книги — доктор биологических наук, натуралист, член Союза писателей СССР — в увлекательной форме повествует о фактах странного поведения животных перед землетрясениями. Им обобщена мировая литература по этой проблеме.

Могут ли наши «меньшие братья» помочь нам в предсказаниях землетрясений? Видимо, могут. Зарегистрировано около 70 видов животных, обладающих повышенной сейсмочувствительностью и метеочувствительностью. Перед землетрясением змеи и ящерицы покидают норы, фазаны тревожно кричат, муравьи хватают куколок и ух-

дят из муравейника, голуби вылетают из голубятни и мечутся в воздухе... Одна из причин такой чувствительности, как считают многие ученые, — наличие в коже животных большого количества нервных окончаний, воспринимающих очень слабые механические колебания различной частоты.

Жители Китая и Японии с древнейших времен относились с большим доверием к биологическим предвестникам сейсмической опасности. К сожалению, в Европе и Америке до недавнего времени сведения о животных — предсказателях землетрясений часто относились к легендам. Это мнение разделялось учеными. В руководствах по зоологии и по сию пору бесполезно искать данные по этому вопросу. Возрождение интереса к состоянию животных перед землетрясениями отмечено сравнительно недавно.

В 1975 г. в истории сейсмологии произошло знаменательное событие. По необычному поведению «живых сейсмологических аппаратов» было предсказано наступление сильного землетрясения в КНР, в провинции Хайченг. Население вывезли из опасного района за 6 часов до катастрофы, чем была предотвращена гибель людей.

Автор книги указывает, что главная задача предстоящих исследований в этом направлении — поиски среди животных наиболее тонких индикаторов подземных бурь.

Геология

Я. Г. Кац, В. В. Козлов, Н. В. Макарова, Е. Д. Сулиди-Кондратьев. ГЕОЛОГИ ИЗУЧАЮТ ПЛАНЕТЫ. М.: Недра, 1984, 144 с., ц. 55 к.

Достижения последних десятилетий в изучении космического пространства дали богатый материал для сравнительно-планетологического анализа, а также изучения геологии планет и их спутников. В настоящей книге в концентрированном и одновременно популярном виде представлено все новое, что стало известно в этой области. Рассказывая о планетах,

авторы постоянно подчеркивают, что такие исследования очень нужны для познания самой Земли, в том числе для выявления ее ранней истории, для понимания роли космических факторов в эволюции нашей планеты.

На первых страницах книги речь идет о космических снимках, качество которых уже позволяет дешифровать детали геологического строения далеких планет. Затем читатель знакомится с гипотезами о внутреннем устройстве планетных тел, с чертами их сходства и различия. Рассказывается о вулканизме как планетарном явлении, гораздо шире распространенном в Солнечной системе, чем это считалось ранее. Особое внимание уделено роли метеоритной бомбардировки в формировании поверхности планет — применительно к Земле этот вопрос остается дискуссионным.

Геологи много занимаются разломами — трещинами в земной коре, с которыми часто связаны месторождения полезных ископаемых. Поэтому читателю будет интересно сравнить сетки разломов разных планетных тел, понять закономерности в их сложном рисунке. На всех планетах образуется рыхлый поверхностный слой — реголит, изучение которого дает сведения о составе подстилающих горных пород. Даже в условиях сильно разреженной марсианской атмосферы происходит ветровой перенос песка и пыли и образуются настоящие пустыни с формами рельефа, удивительно напоминающие земные. Одна из глав книги дает ответ на вопрос: «Текли ли реки на Марсе?».

В широком аспекте рассматриваются вопросы гляциологии — от проявлений «вечной мерзлоты» и ледниковых щитов Марса до структуры ледяных спутников планет. Целый раздел посвящен Венере, так как именно в самые последние годы проведено исследование этой планеты с помощью спутников, спускаемых аппаратов и радиолокации.

Можно было бы пожелать авторам более серьезно продумать список рекомендуемой литературы, так как многие обоб-

щающие работы ими не учтены.

Книга хорошо оформлена. Марсианский пейзаж на яркой обложке сразу же привлекает внимание. Да и в самой книге много интересных и красивых иллюстраций.

М. С. Марков,
доктор геолого-минералогических наук
В. Г. Трифонов,
доктор геолого-минералогических наук
Москва

Геология

Д. Браун, А. Массет. НЕДОСТУПНАЯ ЗЕМЛЯ. Пер. с англ. Б. А. Борисова под ред. В. Н. Жаркова. М.: Мир, 1984, 262 с., ц. 2 р.

В книге речь идет о Земле: ее образовании, развитии и в особенности о ее внутреннем строении и вещественном составе. Именно здесь встречаются две крупные отрасли современных наук о Земле — геофизика и геохимия. Но чтобы разбираться в вопросах, связанных со строением и эволюцией Земли, необходимо обладать определенным объемом знаний не только в области геологии, геофизики и геохимии, но и в области астрономии, метеорологии и некоторых других быстро развивающихся наук.

Книга, принадлежащая перу двух молодых английских преподавателей, один из которых является геохимиком (Д. Браун), а другой — геофизиком (А. Массет), представляет собой введение в физику и химию Земли, написанное с учетом этих обстоятельств. Но главная особенность книги заключается в том, что в ней геохимический аспект проблемы играет ведущую роль.

Изложение построено так, что протягивается цепочка от происхождения химических элементов к происхождению Солнечной системы и планет, их эволюции и, наконец, к их современному строению. Книга состоит из введения, десяти глав и десяти коротких математических дополнений. Поскольку рассчитана она в большей мере на широкого читателя, чем на специалиста, авторы стремились

разъяснить основные физические и химические принципы и использовали математику в очень малой степени. В конце книги даны приложения, в которых приводятся некоторые фундаментальные сведения по геологии. Книга хорошо иллюстрирована.

Лингвистика. Психология.
Этнология.

Роман Якобсон. ИЗБРАННЫЕ РАБОТЫ. Пер. с англ., нем., франц. Сост. и общ. ред. В. А. Звегинцева. Предисл. Вяч. Вс. Иванова. М.: Прогресс, 1985, 455 с., ц. 2 р. 60 к.

В советской печати труды Романа Осиповича Якобсона (1896—1982), имя которого как достаточно хорошо известное упомянуто еще в стихотворении Маяковского «Товарищу Нетте, пероходу и человеку», появились не раз (см., например, сборники: Структурализм: за и против. М., 1974; Семиотика. М., 1984). Однако этот сборник — первый, в котором работы его представлены достаточно полно и в котором не воспроизводятся предыдущие публикации этого автора на русском языке.

Р. О. Якобсон — один из крупнейших лингвистов современности, деятельность которого выходила далеко за рамки его прямой специальности. Он изучал поэтику и теорию коммуникации, этнологию (культурную антропологию) и психологию, в частности — проблемы связи языка и мозга. Его лекции в Нью-Йорке посещали знаменитый антрополог К. Леви-Строс, математик Ж. Адамар, историк культуры А. Грегуар. В ходе совместного семинара Р. О. Якобсона и Н. Бора в Массачусетском технологическом институте были установлены «сходства и различия в интерпретации показаний приборов физиками и словесных сообщений лингвистами». В соавторстве с К. Черри и другими специалистами Р. О. Якобсон пишет работы по «теории коммуникаций», где показывает большую роль для лингвистики выработанных в математике способов описаний структур. Такие естественные понятия как квант, элементарная частица, код стали с его

помощью лингвистическими терминами. После внушительных успехов теории информации, которая дала представителям лингвистики, этнологии, психологии, математики возможность пользоваться терминологией, в равной мере удобной для каждой из этих наук, практически выработалась программа общей науки о знаковых системах — семиотики, одним из лидеров которой был Р. О. Якобсон.

Специалиста — «естественника» в «Избранных работах» наверняка заинтересуют такие статьи Р. О. Якобсона как «Лингвистические типы афазии», «Мозг и язык», где речь идет о различных функциях левого и правого полушарий. В статье «Лингвистика в ее отношении к другим наукам» рассматриваются такие проблемы как биомеханические аспекты артикуляторных движений, необходимость понимания сущности отношений между организмом человека и его языковой действительностью, различия между языковыми способами общения и способами передачи сообщений у животных. Связь лингвистики с естественными науками должна быть, по мнению Р. О. Якобсона, двусторонней, поскольку «взаимодействие между имеющимися объектами и языковыми средствами их представления требует контроля над этими средствами. Эта задача требует обращения к науке о языке».

Строго специальные лингвистические статьи сборника (например, о структуре русского глагола и др.) также найдут заинтересованного читателя.

История науки

А. Койре. ОЧЕРКИ ИСТОРИИ ФИЛОСОФСКОЙ МЫСЛИ. О влиянии философских концепций на развитие научных теорий. Пер. с франц. Я. А. Ляткера. Общ. ред. и предисл. А. П. Юшкевича. Послесл. В. С. Черняка. М.: Прогресс, 1985, 285 с., ц. 1 р. 70 к.

Александр Владимирович Койре (1892—1964) — философ и историк науки — родился в Таганроге, учился в Тифлисе и Ростове-на-Дону. В 1908 г. переехал в Геттинген, где слушал лекции основателя феноме-

нологической школы философии Э. Гуссерля, затем в Париж, где и оставался до конца своих дней, возглавляя Центр исследований по истории науки и техники.

Сборник состоит из 9 статей, самая ранняя из которых — «Заметки о парадоксах Зенона» — вышла в 1922 г., а последняя — «Ньютон и Декарт» — посмертно в 1965 г.

Жанр, в котором работал А. Койре, ученые называют философской историей науки, так как понятия истории науки и истории философии для него неотделимы. Великие научные революции, считал он, всегда определялись переворотами или изменениями философских концепций. Научная мысль никогда не развивается в вакууме, но

всегда находится в рамках фундаментальных принципов, аксиоматических очевидностей, принадлежащих собственно философии («О влиянии философских концепций на развитие научных теорий»).

Теория истории А. Койре такова: история не является «хронологией открытий или, наоборот, каталогом заблуждений... но историей необычайных приключений, историей человеческого духа, упорно преследующего, несмотря на постоянные неудачи, цель, которую невозможно достичь, — цель постижения или, лучше сказать, рационализации реальности. История, в которой в силу самого этого факта заблуждения, неудачи столь же поучительны, столь же интересны и

даже столь же достойны уважения, как и удаchi». При таком подходе демаркационная линия, разделяющая науку и ненаучные формы знания становится подвижной, главным же для историка становится выявление в научной мысли того способа, посредством которого она сама себя осознала.

«Историк проектирует в историю интересы и шкалу ценностей своего времени, — пишет А. Койре, — и только в соответствии с идеями своего времени — и своими собственными идеями — он производит свою реконструкцию. Именно поэтому история каждый раз обновляется, и ничто не меняется более быстро, чем неподвижное прошлое».

К ЧИТАТЕЛЯМ «ПРИРОДЫ»

Подписка на журнал «Природа» не ограничена и принимается во всех отделениях связи на любой срок с любого месяца.

Подписная цена:

на год — 9 р. 60 к.

на полугодие — 4 р. 80 к.

Цена одного номера — 80 к.

Индекс 70707.

Обо всех случаях отказа в подписке просим сообщать в редакцию журнала по адресу: 117049, ГСП-1, Москва, Мароновский пер., 26.

В номере использованы фотографии АЛЕКСЕЕВА Н. Н., БРОДСКОГО А. К., ИВАНОВА В. Д., КИРИЛЕНКО А. С., ЛЮБИНСКОГО Е. Г., САМЕЛЯКА Ю. П., СЮХИНА В. Д., СМЕЛОВА Н. П., ТАСС.

Художник П. Г. АБЕЛИН

Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС

Сдано в набор 26.07.85.
Подписано к печати 17.09.85
Т-19902
Формат 70×100 1/16
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1426,3 тыс.
Уч.-изд. л. 15,5
Бум. л. 4
Тираж 53 259 экз. Зак. 2138

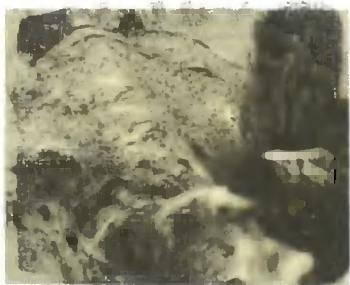


— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука».

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

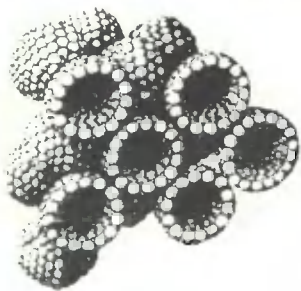
Ордена трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 142300, г. Чехов Московской области



В следующем номере

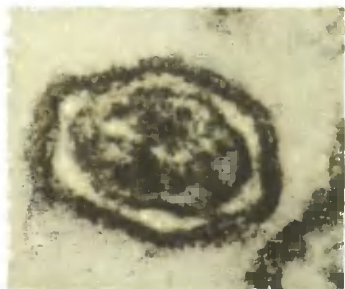
Взрыв уже давно известен как эффективный способ возведения водонапорных плотин. Тем не менее далеко не все возможности взрыва используются в полной мере, слишком осторожно и нерешительно внедряются новые технологии, основанные на использовании обрушающего действия взрыва.

Садовский М. А., Адушкин В. В. Плотины, созданные взрывом.



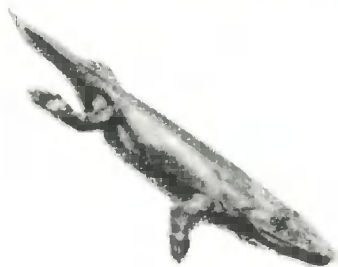
Молекулярные механизмы набухания имеют много общего в очень широком круге объектов — от глинистых минералов до живых тканей. Такое замечательное единство едва ли случайно и, возможно, имеет определенный эволюционный смысл.

Веденов А. А., Левченко Е. Б., Третьякова Л. И.
Набухание: от глины к живой клетке.



Основная задача в изучении рака заключается в том, чтобы выяснить, когда и как «включаются в работу» онкогены, какие процессы они инициируют, выявить молекулярно-генетические различия между первичными опухолями и метастазами.

Киселев Ф. Л. Молекулярная онкология.



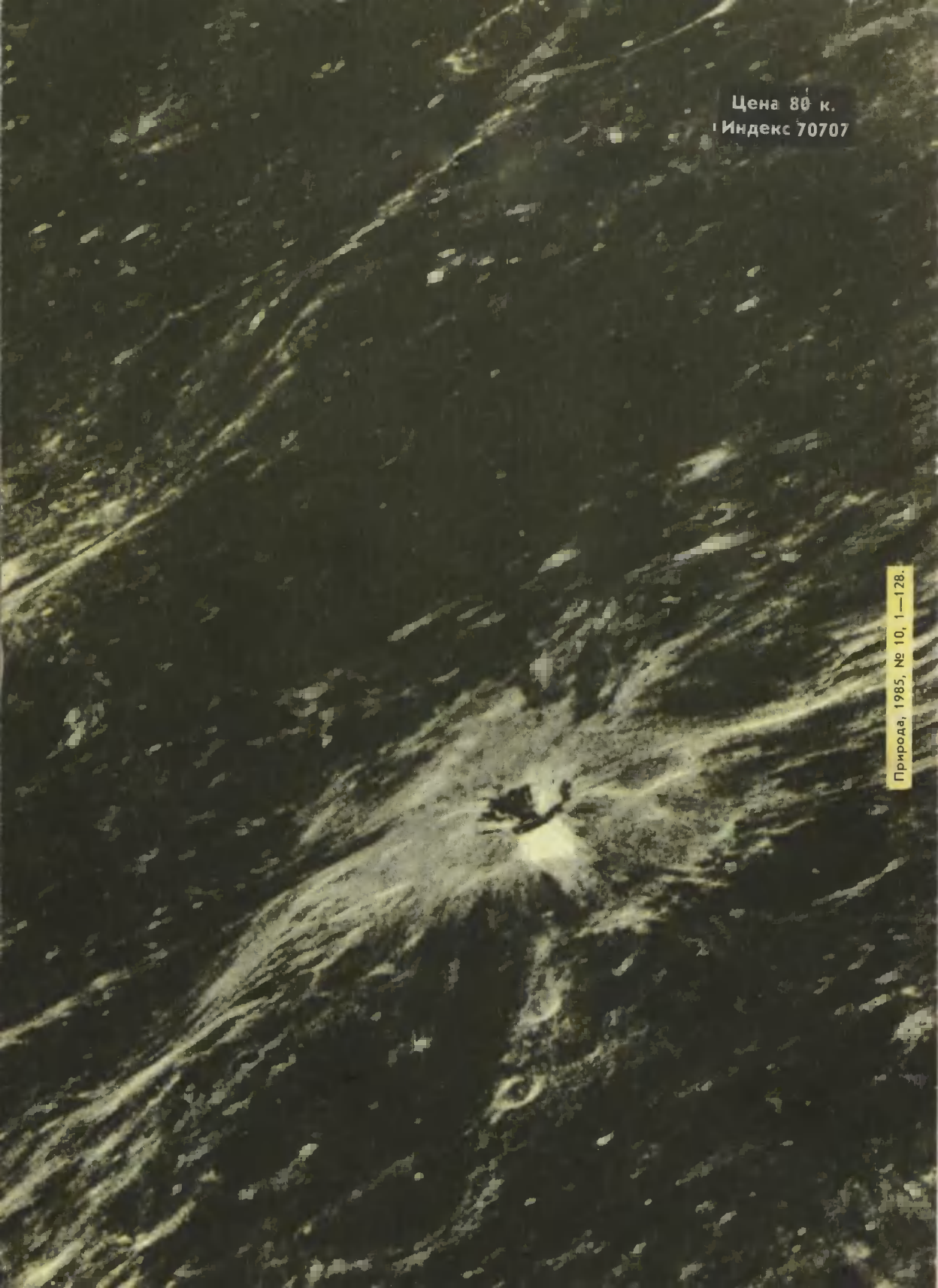
На территории Советского Союза найдены костные остатки тулерпетона — одного из древнейших четвероногих животных позднедевонского возраста, самого древнего в мире антракозавра.

Лебедев О. А. Первые четвероногие: поиски и находки.



Звенигород — бывшая столица удельного княжества — известен своей архитектурой; придворный Успенский собор был расписан выдающимся средневековым мастером Андреем Рублевым. Долгое время считалось, что город возник в XIV в. Однако археологическое изучение планировки дворцового комплекса, улиц и укреплений помогло уточнить время его основания: подобно Москве, он возник в XII в.

Юшко А. А. Древний город на реке Москве.



Цена 80 к.
Индекс 70707