

ISSN 0032-874X

2 ПРИРОДА

1980



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик

Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук
А. Г. БАННИКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Академик
Ю. В. БРОМЛЕЙ

Доктор биологических наук
А. Л. БЫЗОВ

Заместитель главного редактора
член-корреспондент АН СССР
В. М. ГАЛИЦКИЙ

Заместитель главного редактора
В. А. ГОНЧАРОВ

Член-корреспондент АН СССР
Б. Н. ДЕЛОНЕ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Л. КРЕТОВИЧ

Академик
К. К. МАРКОВ

Доктор философских наук
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора
В. М. ПОЛЫНИН

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

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Академик
Н. В. ЦИЦИН

Доктор географических наук
Л. А. ЧУБУКОВ

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

Доктор биологических наук
А. В. ЯБЛОКОВ



— 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. Подробно о программе см.: «Природа», 1979, № 1, с. 28.

На первой странице обложки. Волк — один из важных элементов многих естественных биоценозов, необходимый для поддержания природного равновесия. См. в номере: Биби-ков Д. И., Филонов К. П. «Волк в заповедниках СССР».

Фото И. А. Мухина.

На четвертой странице обложки. Черный водопад в урочище Чимган в Западном Тянь-Шане. См. в номере: Ходжибаев Н. Н., Бедер Б. А. «Красную Книгу» — уникальным объектам неживой природы».

Фото М. А. Штейна.

Редакция рукописей не возвращает.

© Издательство «Наука»,
«Природа», 1980

В НОМЕРЕ

Овчинников Ю. А. Основные тенденции в развитии физико-химической биологии	2
Благосклонов К. Н. «Экофильм-79». Заметки эколога	13
Казачковский О. Д. Реакторы на быстрых нейтронах в атомной энергетике	16
Торчилин В. П. Липосомы в медицине	26
Ходжибаев Н. Н., Бедер Б. А. «Красную Книгу» — уникальным объектам неживой природы	34

КРАСНАЯ
КНИГА

Щербак Н. Н. Даурский еж	42
--------------------------	----

Щербаков А. В. Сероводород в подземных водах	43
--	----

ЗАМЕТКИ,
НАБЛЮДЕНИЯ

Матиашвили А. Д. Лоза-великан	50
Несис К. Н. Фотомониторинг океанического дна	50

Шехтер В. М. Кварки	53
---------------------	----

Захаров В. Ф. Полярные льды: следствие или причина изменения климата?	70
---	----

Бибиков Д. И., Филонов К. П. Волк в заповедниках СССР	80
---	----

Тильман С. М. Геологические феномены Корякского нагорья	88
---	----

Коваль П. В. Галерея наскального искусства в Хангае	96
---	----

НОВОСТИ НАУКИ
КНИГИ, ЖУРНАЛЫ

Абрамов Л. С., Б. В. Андрианов. К началу выхода серии «Страны и народы» (120). Старостин Б. А. Очерки по истории русской науки (122).	103
	120

НОВЫЕ КНИГИ

	124
--	-----

В КОНЦЕ НОМЕРА

Лазаревич Э. А. Кое-что о заголовках	126
--------------------------------------	-----

Основные тенденции в развитии физико-химической биологии

Ю. А. Овчинников



Юрий Анатольевич Овчинников, академик, вице-президент Академии наук СССР, директор Института биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР. Основная область научных интересов связана с биоорганической химией и физико-химической биологией. Лауреат Ленинской премии 1977 г и премии им. А. П. Карпинского Гамбургского общества (ФРГ, 1979 г.). Почетный член ряда иностранных академий и международных научных организаций.

Возникновение и развитие физико-химической биологии, ознаменовавшее собой новую эпоху в изучении живой материи и отмеченное проникновением в биологию идей и методов физики, химии и математики, стало одним из ярчайших событий естествознания нашего столетия. Стремительный прорыв в мир причудливых биологических структур и гигантских молекул с уникальными свойствами оказался возможным благодаря величию человеческого разума и необычайной мощи технических средств.

И, может быть, здесь впервые человек ощутил неповторимость динамической архитектуры высшей формы материи, пролил свет на удивительные механизмы, обеспечивающие в конечном итоге эффективность работы, взаимосогласованность, саморегулируемость и надежность систем живой клетки и целого организма. Жизнь лишь приоткрыла свои тайны, продолжая многое держать в секрете, но в нашем материалистическом понимании живого наступил качественно новый этап — этап непосредственного анализа самых глубинных биологических процессов.

Эра физико-химической биологии характеризуется становлением и быстрым прогрессом комплекса взаимосвязанных научных дисциплин, опирающихся на опыт предшествующих поколений и вобравших

в себя достижения новейших отраслей знания.

Биохимия, сложившаяся на рубеже нашего века, за полстолетия своего существования превратилась в современную науку о процессах обмена веществ, их регуляции и энергетическом обеспечении. Живой организм предстал перед биохимиком как отлаженная эволюцией бесконечная цепь сложнейших химических превращений, каждое звено которой нельзя ни нарушить, ни исключить.

Мощное наступление на биологию предприняла в довоенный период физика, привыкшая к быстрым победам и еще не остывшая от революционного марша теории относительности и учения о квантах.

Биофизика накопила ценные факты о фотосинтезе и работе мышц, научилась количественно описывать рост микроорганизмов, деление клеток, движение крови и работу ферментов. Электрофизиология резко продвинула вперед изучение нервной системы, мозга. В биологию прочно вошли математические расчеты, принципы и подходы термодинамики и кинетики, стали широко использовать методы меченых атомов, спектроскопии, теплофизики, седиментационного анализа.

Однако подлинным триумфом биологии явилось рождение в начале пятидесятых годов **молекулярной биологии** —

науки о механизмах хранения и реализации генетической информации, о действии знаменитой триады ДНК — РНК — белок. Базируясь на достижениях микробиологии, вирусологии и классической генетики, молекулярная биология продемонстрировала свою силу в открытии двойной спирали ДНК, структуры гемоглобина и других белков, в открытии новых принципов организации биологических макромолекул. Молекулярная биология, и в первую очередь молекулярная генетика, уверенно заняла передовые позиции в новом направлении биологии.

В химии живого эстафету в конце 50-х годов переняла **биоорганическая химия**. Воспринявшая лучшие черты традиционной химии природных соединений и накопившая опыт в изучении структуры и методов синтеза терпенов, алкалоидов, витаминов, стероидных гормонов и лекарственных препаратов, биоорганическая химия с готовностью приняла задачи новой биологии и начала штурм сложнейших структур пептидов и белков, нуклеиновых кислот, липидов, полисахаридов и смешанных биополимеров, достигнув при этом подлинного совершенства в структурно-функциональном изучении антибиотиков, гормонов, простагландинов, феромонов и других биологических регуляторов. Шедеврами биоорганической химии по праву можно назвать синтез хлорофилла, витамина В₁₂, первых белков и генов. Химические подходы постепенно стали использовать в изучении биологических мембран, эндокринной, нервной и иммунной систем, а также деятельности мозга.

Комплекс наук о физико-химических основах жизнедеятельности, получивший название физико-химической биологии, и определил бурный прогресс науки о живой материи. Мир биологических молекул, малых и гигантских, стал приобретать контуры согласованной, взаимосвязанной системы с четким распределением ролей отдельных звеньев и элементов. В таких сложнейших явлениях жизнедеятельности, как передача наследственных признаков, генерация и превращение энергии, транспорт веществ и ионов, распространение нервного импульса и т. п. биология уже способна ответить на вопрос «как, каким образом?», удовлетворяя при этом самым придирчивым критериям физики и химии.

Проникнув в самые глубины живой материи, на уровень молекул и молекулярных комплексов, физико-химическая биология в последнее время постепенно распространяет свое влияние на процесс

изучения более сложных надмолекулярных структур и органелл, уверенно переходя к клетке и учитывая особенности организма как целого. Таким образом, не противопоставление одного уровня организации живой материи другому, не возведение одного звена в абсолют, а рассмотрение простого и сложного, частного и целого в их связи и единстве и является подлинным мировоззрением физико-химической биологии, ее принципом, ее кредо. Именно этим можно объяснить тот факт, что сейчас в ряде ведущих областей этой науки центр тяжести смещается от молекулярного уровня к надмолекулярному, т. е. к клеточной биологии, и эта тенденция становится все более ощутимой. Понять физико-химические механизмы структурного взаимодействия и регуляции в главных клеточных элементах и в клетке в целом, правильно объяснить природу специализации и взаимодействия клеток и таким путем подойти к точному пониманию и описанию живой системы — это и есть первейшая задача физико-химической биологии. Физико-химическая биология оказывает не только огромное воздействие на современное естествознание, но и несет с собой громадные практические перспективы. В медицине — это создание новых мощных лекарственных средств, антибиотиков, вакцин, мобилизация внутренних ресурсов организма, продление жизни человека. В сельском хозяйстве — это переход к направленному и контролируемому изменению генетического аппарата сельскохозяйственных животных и растений для получения высокопродуктивных пород и сортов; это новые эффективные и нетоксичные для человека пестициды и ростовые вещества, биологические регуляторы поведения животных, новые возможности в повышении коэффициента использования солнечной энергии путем фотосинтеза. Наконец, это развитие новых отраслей промышленности, использующих микроорганизмы и ферменты, все более широко применяющих принципы биокатализа, матричного синтеза и искусственного интеллекта.

Становление физико-химической биологии в Советском Союзе имело свои особенности. Прежде всего оно базировалось на блестящих достижениях и самобытных традициях отечественной биологической мысли. Достаточно упомянуть имена И. М. Сеченова, И. И. Мечникова, А. Я. Данилевского, И. П. Павлова, А. Н. Баха, Н. К. Кольцова, Н. И. Вавилова, С. Н. Виноградского, Д. И. Ивановского, В. С. Гу-

левича, А. С. Серебровского, С. С. Четверикова, К. А. Тимирязева, Д. Н. Прянишников, В. И. Вернадского и многих, многих других. В развитии новой биологии прослеживается и мощное влияние русской химической школы, уделявшей большое внимание расшифровке строения природных веществ растительного и животного происхождения. Большой вклад в науку внесли работы А. М. Бутлерова, впервые синтезировавшего сахароподобное вещество, В. Е. Тищенко и Е. Е. Вагнера, В. В. Феофилактова и Н. Д. Зелинского, А. Е. Фаворского и П. П. Вальдена, П. П. Шорыгина и С. С. Наметкина, А. Е. Чичибабина и А. Е. Арбузова, А. П. Орехова и В. М. Родионова, Н. А. Преображенского и И. Н. Назарова, М. М. Шемякина и их учеников.

Уже в предвоенные годы советская биология продемонстрировала свою зрелость, оригинальность подходов и решений, высокий темп развития и весомый потенциал. Нельзя в этой связи не отметить решающий вклад в познание природы окислительного фосфорилирования (В. А. Энгельгардт, В. А. Белицер), открытие ферментативной активности мышечных белков (В. А. Энгельгардт), открытие и выяснение механизма переаминирования (А. Е. Браунштейн, М. М. Шемякин), доказательство существования ДНК в высших растениях (А. Н. Белозерский), основы учения о происхождении жизни (А. И. Опарин), фундаментальные исследования по биохимии и физиологии А. В. Палладина, В. Н. Шапошникова, Н. Ф. Гамалеи, Л. А. Орбели, Я. О. Парнаса, Л. А. Зильбера, И. С. Бериташвили и др.

Конечно, история не забывает и негативных явлений в нашей биологии, которые в самый канун рождения ее физико-химического направления резко затормозили движение вперед. Лысенковщина не только нанесла прямой ущерб нашей науке, она порождала неуверенность, сковывала инициативу, настораживая молодую смену, ослабляя интерес и внимание к новой биологии со стороны различных кругов общества. Сегодня советская биология полностью преодолела эти явления, целиком избавилась от их последствий и уверенно движется вперед дорогой новых открытий.

Бурным прогрессом физико-химической биологии, в первую очередь, молекулярной биологии, молекулярной генетики и биоорганической химии, характеризуются семидесятые годы. В 1974 г. было принято этапное для нашей науки постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по ускорению раз-

вития молекулярной биологии и молекулярной генетики и использованию их достижений в народном хозяйстве».

Основы нашего понимания физико-химической сущности биологических процессов составляет знание структуры участвующих в них систем. Ведь именно в структуре биологически активного вещества эволюция закодировала его способность вполнять строго определенную биологическую функцию. Путь к познанию жизни лежит через познание строения живой материи, этот путь тернист, требует много времени, совершенных методов и средств. Правда, расшифровка структуры открывает перспективу познания самых сложных явлений и событий, их точных механизмов, и поэтому окупает все усилия и затраты. Достаточно вспомнить эпохальное значение для молекулярной биологии расшифровки Дж. Уотсоном и Ф. Криком двойной спирали ДНК, выяснение аминокислотной последовательности инсулина, положившее начало работам по структуре белков, выяснение строения стероидных гормонов, пенициллина и простагландинов, создавшее основу промышленного получения десятков эффективных лекарств для современной медицины.

Исследователя интересуют различные уровни структурной организации живой материи, но основу их составляют валентная структура и пространственное строение биологически важных молекул, формирование более сложных молекулярных комплексов и ансамблей. Естественно необходимо знать и характер изменений этих структур во времени, т. е. их динамические параметры, включая точное и метрическое описание. Наконец, надо уметь вскрывать закономерности взаимосвязи структуры и проявляемой ею биологической функции. Структура не ради структуры, а ради функции. Для решения этих задач требуется в совершенстве владеть всей совокупностью современных методов и приемов структурного анализа, как основанных на полной автоматизации эксперимента и использования электронно-вычислительной техники. Структурный анализ — всегда напряженный труд, долг месяцы и годы, когда проза будничной работы может смениться поэтическим миром смелых гипотез лишь после расширения, когда полет фантазии подкрепляется и корректируется данными химии и физики. Но именно размах и уровень структурного анализа характеризуют собой зрелость физико-химической биологии в любой с

ласти, ее фундаментальность, надежность ее выводов и концепций.

В настоящее время в мире определена первичная структура (т. е. аминокислотная последовательность) сотен простых и сложных белков. Эти важнейшие биополимеры ответственны за все главные функции организма. Среди белков, расшифрованных в СССР, фермент цитоплазматическая аспартат-аминотрансфераза сердечной мышцы свиньи (412 аминокислотных остатков), леггемоглобины (белки, состоящие из гема, синтезируемого

клубеньковыми бактериями, и глобина, образуемого клетками высшего растения), многие белковые нейротоксины, актиноксантины, лейцин-связывающий белок, α -субъединица ДНК-зависимой РНК-полимеразы, ряд рибосомальных белков (L3, L10, L25 и L32), белок вируса ядерного полидроза, ряд белковых гормонов и растительных белков. В СССР была расшифрована одна из первых транспортных РНК — валиновая т-РНК из пекарских дрожжей.

После ряда лет кропотливой работы по структуре РНК, ознаменовавшихся уста-

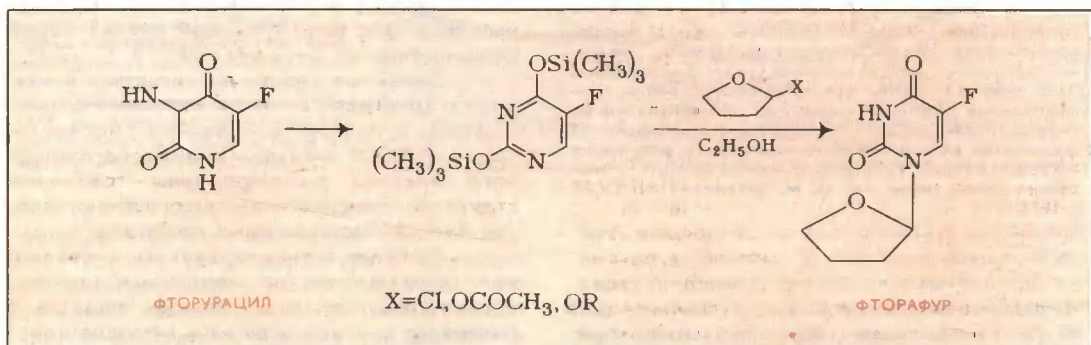
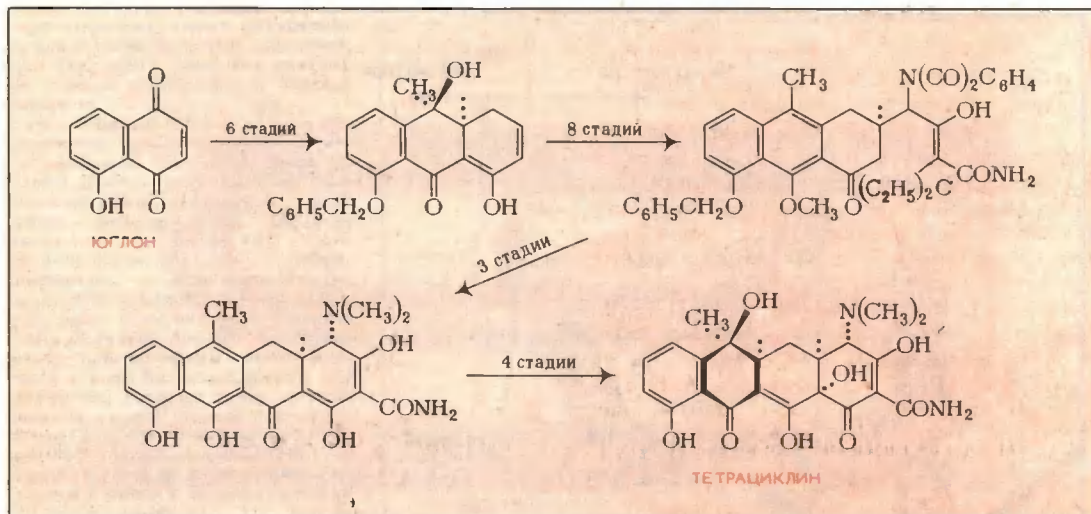


Схема синтеза антибиотика тетрациклина, который впервые был осуществлен в 1966 г. в Институте биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР.

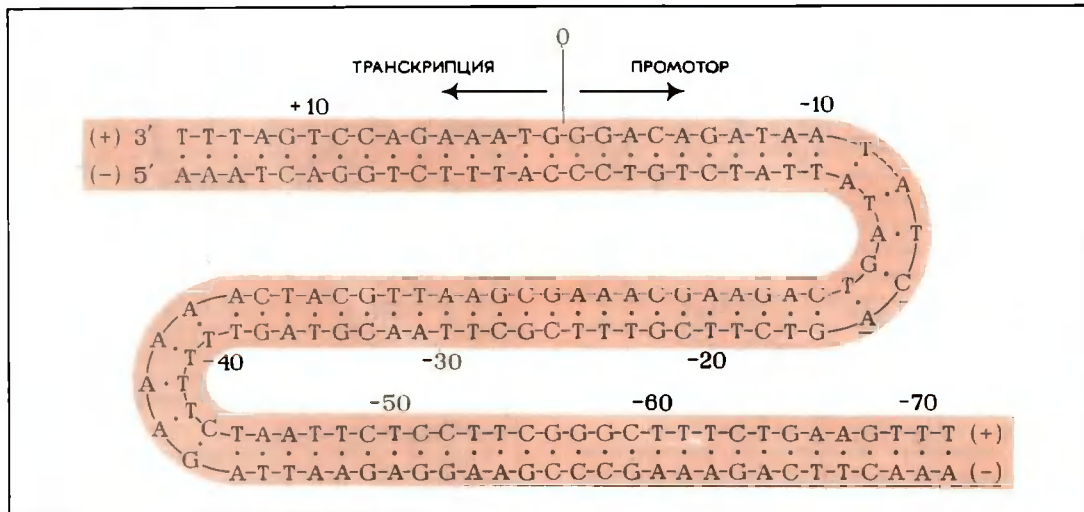
Схема синтеза фторафура — оригинального малотоксичного противоопухолевого препарата, созданного в 1963 г. в Институте органического синтеза АН Латвии.

новлением последовательности довольно длинных РНК из рибосом, наступила эра исследований структуры ДНК. Новая методика, принципиальные моменты которой были разработаны в Институте биоорганической химии АН СССР и Институте молекулярной биологии АН СССР, позволила очень быстро расшифровать структуру ДНК. Сейчас уже известны последовательности многих крупных (содержащих свыше тысячи звеньев) фрагментов ДНК

и нескольких ДНК вирусов. Например, недавно совместными усилиями Института биорганической химии АН СССР и Института молекулярной биологии АН СССР была установлена последовательность важного регуляторного фрагмента ДНК бактериофага λ , длина которого составляет около 1300 пар нуклеотидных оснований. В результате работ по расшифровке структуры ДНК открылось много неожиданного, проливающего свет на механизмы биологических процессов. Оказалось, например, что гены не обязательно располагаются

дают новые методы структурного анализа углеводов и гликопротеинов.

Широким фронтом развиваются исследования по строению низкомолекулярных биорегуляторов — алкалоидов, терпенов, антибиотиков, ростовых веществ, витаминов, ферментов. Если несколько десятилетий назад на расшифровку строения такого рода веществ требовались многие годы, то сейчас, при использовании новейших методов (масс-спектроскопия, рентгеноструктурный анализ, ядерный магнит-



Нуклеотидная последовательность синтетической промоторной области ДНК бактериофага (d. Показана точка инициации [0] и направление транскрипции. Этот фрагмент ДНК, представляющий собой двуцепочечный полинуклеотид из 86-нуклеотидных остатков, отвечает за узнавание одного из ключевых ферментов клетки — РНК-полимеразы и регуляцию активности генов. Работа выполнена в Институте биорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР в 1978 г.

последовательно друг за другом — одна и та же последовательность может принадлежать нескольким перекрывающимся генам. Более того, последовательность генов в ДНК далеко не всегда непрерывно шифрует последовательность аминокислот в белке: части шифрующей белок последовательности могут быть разъединены и находиться в разных участках ДНК. Стремительный поток информации о структуре ДНК продолжает нарастать и заполняет все новые страницы биологической книги.

В ряде академических институтов изучают строение полисахаридов, соз-

ный резонанс и др.) полный анализ порой завершается за 2—3 недели.

Заметные успехи достигнуты и в изучении **пространственного строения** биополимеров и низкомолекулярных биорегуляторов. В СССР методом рентгеноструктурного анализа расшифрованы третичные структуры пепсина и леггемоглобина, многих биологически важных пептидов.

Заметно активизировалась в последние годы работа по конформационному анализу биологически важных веществ в растворах с использованием методов ядерного магнитного резонанса, ультрафиолетовой и инфракрасной спектроскопии, кругового дихроизма и дисперсии оптического вращения, раман-лазерной спектроскопии и малоуглового рассеяния, микрокалориметрии, нейтронографии, мессбауэрографии, измерения дипольных моментов и т. п. наряду с теоретическим конформационным анализом, полуэмпирическими и квантовохимическими расчетами исследуемых систем. В нашей стране впервые разработан комплексный метод анализа про-

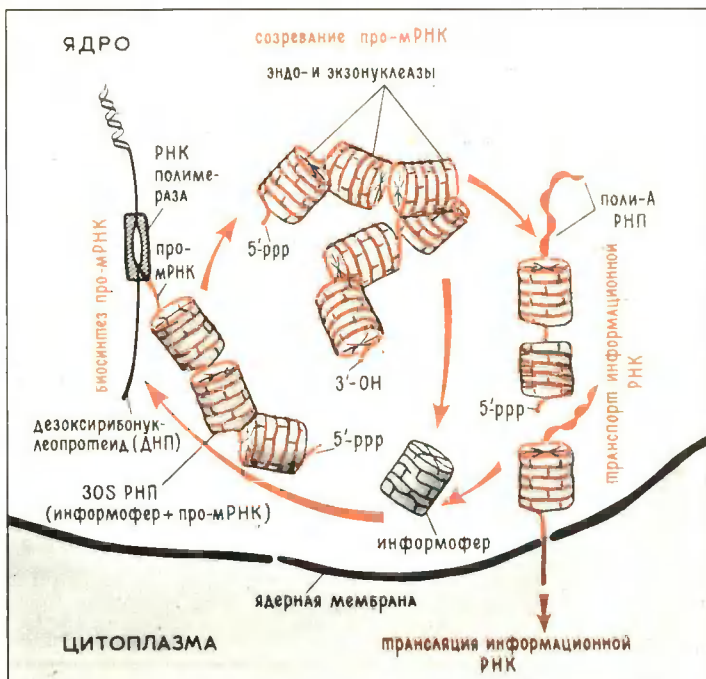
странственной структуры пептидов в растворе, внесен важный вклад в общую методологию ядерного магнитного резонанса, созданы основы теории самоорганизации белков. На этой базе расшифрованы конформации грамицидина S, валиномицина, брадикинина, ангиотензина, нейротоксина кобры, рибонуклеазы и других биологически важных пептидов и белков.

Мощным средством познания биологических процессов является сейчас химический синтез. Он не только служит окончательным критерием истинности предло-

аналоги, отрабатывается технология промышленного получения. Глубокое изучение механизма действия ряда физиологически активных соединений позволило советским ученым разработать основы направленного синтеза мембрано-активных комплексонов, пептидных гормонов, фосфорорганических инсектицидов и т. п. Здесь синтез служит эффективным инструментом познания процессов жизнедеятельности на мембранном, клеточном и организменном уровнях и во многом определил основополагающий характер этих ра-

Гипотетическая схема транспорта предшественника информационной РНК (про-мРНК, показана цветом) из ядра в цитоплазму в клетках эукариот.

I этап — биосинтез про-мРНК и образование рибонуклеопротеидного комплекса (РНП). На одной из цепей дезоксирибонуклеопротеида синтезируется молекула про-мРНК, которая затем образует гигантские комплексы РНП с 20—30 белковыми частями — информиферами. II этап — созревание про-мРНК. Под действием ферментов эндо- и экзонуклеаз большая часть молекулы про-мРНК распадается; информиферы освобождаются в виде белковых глобул или субчастиц, которые затем возвращаются к месту синтеза про-мРНК. Оставшаяся часть молекулы про-мРНК — информиферная РНК присоединяет поли-А-последовательность к 3'-концу и подходит к порам ядерной мембраны. III этап — транспорт информиферной РНК из ядра в цитоплазму. В порах мембраны информиферная РНК освобождается от связи с информиферами и выходит в цитоплазму. Исследования проводились в 1965—1975 гг. в Институте молекулярной биологии АН СССР и были отмечены Ленинской премией.



женного строения вещества, но и позволяет изучать связи структуры и функции на примере синтетических аналогов с подобным, измененным или антагонистическим действием. Химический синтез — это и основа получения практически важных веществ со специфической биологической активностью, которые находят широкое применение в медицине, сельском хозяйстве и т. п.

В нашей стране это направление имеет давние и славные традиции, отражающие высокий уровень отечественной органической химии. Во многих лабораториях и институтах синтезируются витамины, гормоны, пестициды, разнообразные лекарства, антибиотики, исследуются их

бот, опередивших аналогичные исследования за рубежом. У нас был осуществлен первый полный синтез тетрациклина, синтезированы оригинальные отечественные препараты для медицины и сельского хозяйства, многие из которых выпускаются промышленностью. Примером может служить препарат фторафур, представляющий собой отдаленный аналог 2'-дезоксиг-5-фтор-уридина и использующийся для лечения рака желудочно-кишечного тракта и молочной железы. Эти работы имеют большое теоретическое и практическое значение.

Высокого уровня достигли работы по химическому синтезу нуклеиновых кислот. В последние годы в СССР были успеш-

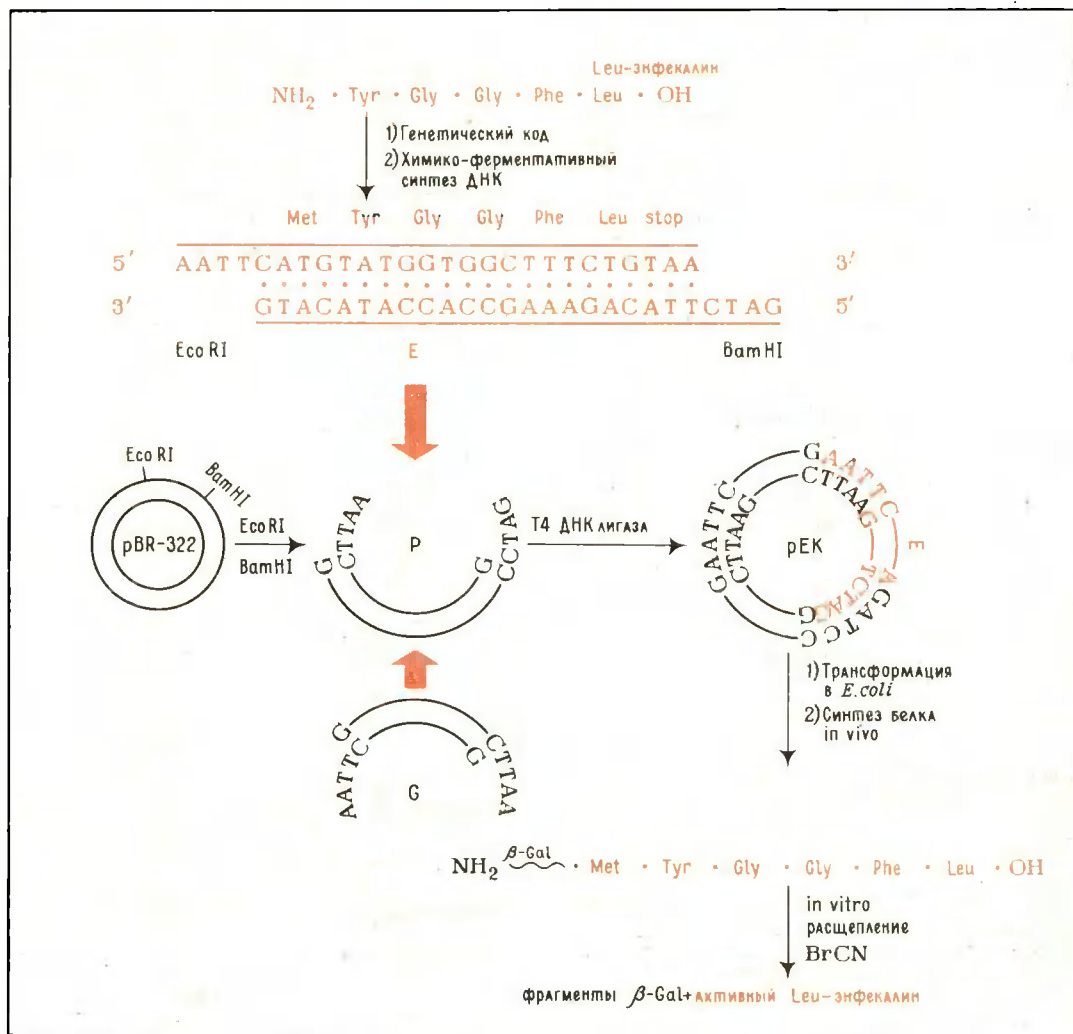


Схема получения нейропептида лейцин-энкефалина путем экспрессии его синтетического гена в бактериальной клетке.

На основе генетического кода была составлена нуклеотидная последовательность гена Leu-энкефалина. Затем этот ген был синтезирован химико-ферментативным способом и содержал: пять кодонов, отвечающих аминокислотам этого пептида, метионинный и терминирующий триплеты, а также выступающие тетра nukлеотидные последовательности, которые соответствовали «липким» концам, генерируемым ферментами нуклеазы рестрикции *E. coli* RI и *Bam* HI.

Синтетический ген был встроен вместе с фрагментом природной ДНК, содержащим промотор и проксимальную часть гена белка β -галактозидазы *E. coli* в плазмиду-вектор pBR-322, обработанную смесью ферментов нуклеаз рестрикции *E. coli* RI и *Bam* HI. Полученная рекомбинантная плаزمид pEK была трансформирована в клетки *E. coli*, в результате чего бактерия начала производить химерный белок, содержащий на N-конце участок β -галактозидазы, а на C-конце — нейропептид лейцин-энкефалин. С по-

мощью бромциана расщепляли in vitro химерный белок и получали активный лейцин-энкефалин.

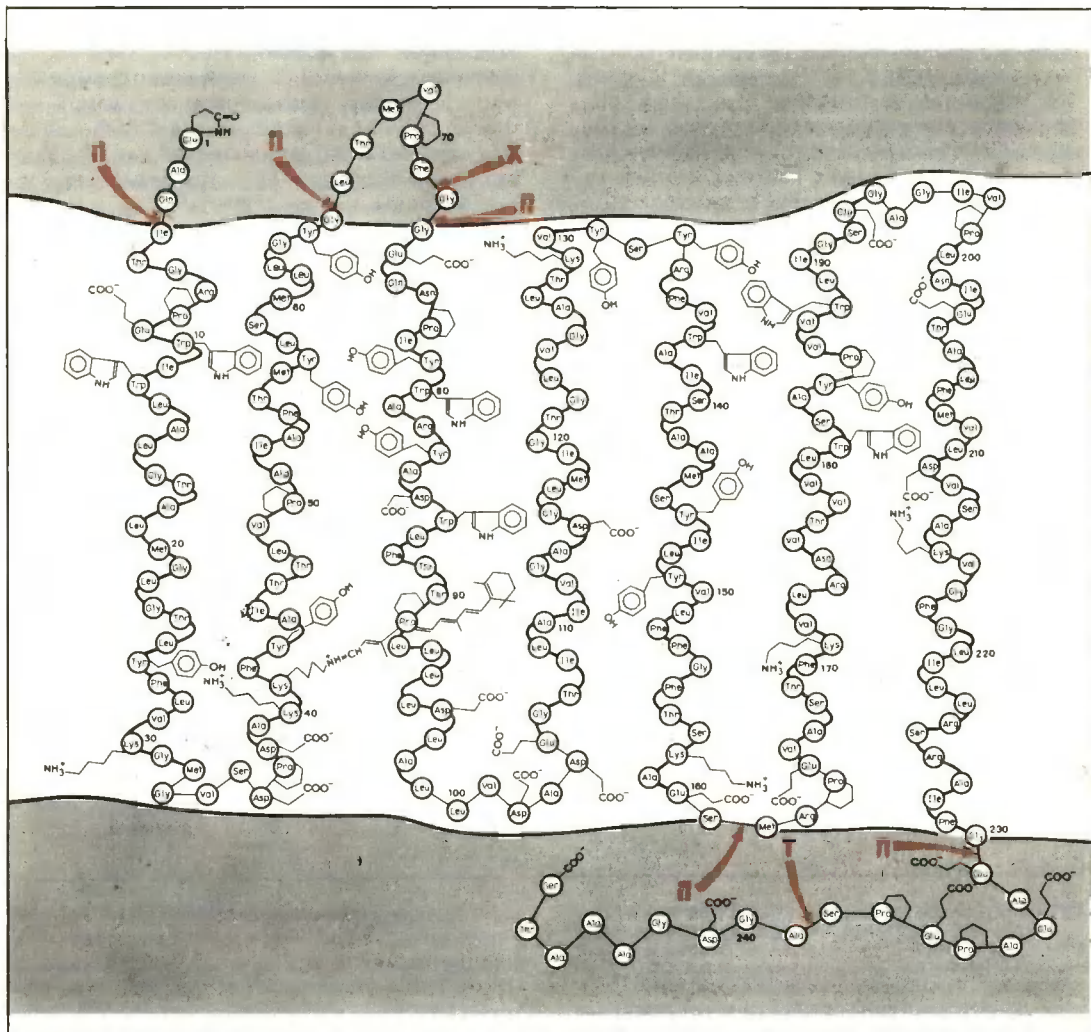
E — синтетический ген нейропептида Leu-энкефалина;

P — плазмид-вектор, обработанная нуклеазами рестрикции;

G — участок ДНК, содержащий промотор (p) и часть гена β -галактозидазы [Gal].

Синтез гена и получение нейропептида энкефалина осуществлены в 1978 г. в Институте биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР.

но синтезированы два структурных гена, кодирующие последовательность таких важных с медицинской точки зрения пептидов, как лейцин-энкефалин и брадикинин. Эти работы открывают новые возможности в генной инженерии и создают предпосылки для получения практически ценных белков и пептидов в промышленном мас-



Предполагаемая упаковка полипептидной цепи бактериородопсина в нативной пурпурной мембране. Р — участок полипептидной цепи, подвергаемый действию папаина, Х — химотрипсина, Т — трипсина. Работа выполнена в 1978 г. в Институте биоорганической химии им. М. М. Шемакина АН СССР.

штабе с помощью микробиологической техники.

В последние годы была синтезирована промоторная область ДНК бактериофага fd — функционально значимого участка ДНК, ответственного за узнавание одного из ключевых ферментов клетки — РНК-полимеразы и регуляцию активности генов. В настоящее время — это один из наиболее крупных химически синтезированных биополимеров.

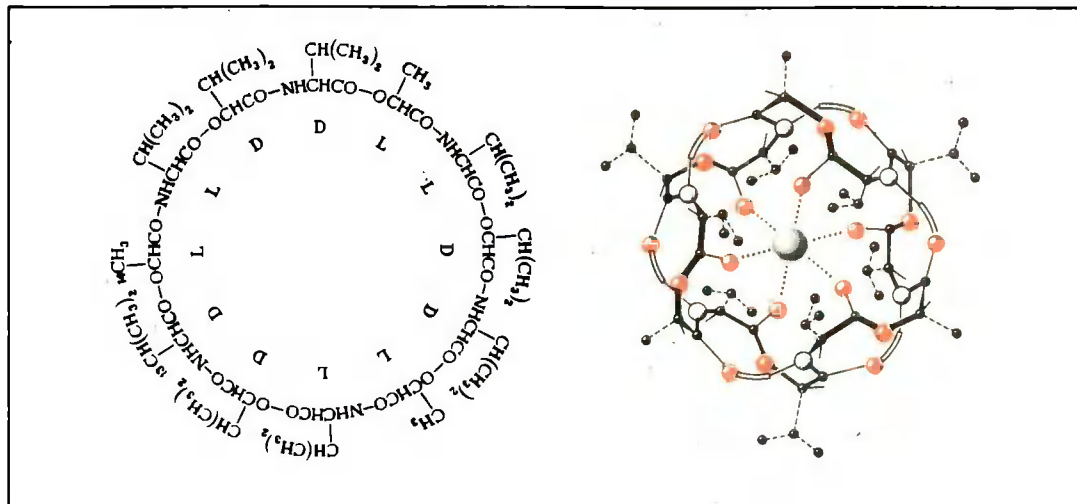
Все большую роль в жизни человеческого общества играет генетика — наука о наследственности и изменчивости. Успехи физико-химического направления в генетике открывают новые перспективы для медицины, сельского хозяйства и других областей. Медицина использует достижения генетики для диагностики, профилактики и лечения наследственных заболеваний, для выяснения молекулярных основ злокачественного перерождения и вирусных инфекций, для познания механизмов иммунного ответа и биосинтеза антигенов. В сельском хозяйстве широко используются методы современной генетики и биохимии, включая хромосомный и белковый анализ новых сортов и пород, успешно применяются методы радиационного и

химического мутагенеза, приемы отдаленной гибридизации и гетерозиса.

Успешно выясняется структура генетического аппарата и особенности его регуляции. Разработаны пути получения индивидуальных генов как с помощью обратной транскрипции, так и путем прямого химического синтеза. В СССР была успешно выполнена программа исследований по получению генов путем обратной транскрипции, получившая название «Ревертаза». В ней участвовали коллективы Москвы,

спективы. Например, в США недавно удалось ввести в генетический аппарат бактерии ген, который у человека ответствен за выработку важнейших гормонов — соматостатина и инсулина, а в СССР успешно осуществлен химический синтез гена важного нейропептида — лейцин-энкефалина, который вырабатывается в мозге животных. Этот ген был вставлен в плазмиду и в ее составе введен в обычную кишечную палочку. В результате бактерия стала производить энкефалин.

За рубежом раздаются голоса, ве-



Формула валиномицина (слева). Пространственная структура его калиевого комплекса (справа), установленная несколько лет назад в Институте биохимической химии им. М. М. Шемякина АН СССР. Кругами обозначены элементы: черными — углерод, цветными — кислород, белыми — азот, серым — калий. Водородная связь выделена двойной линией.

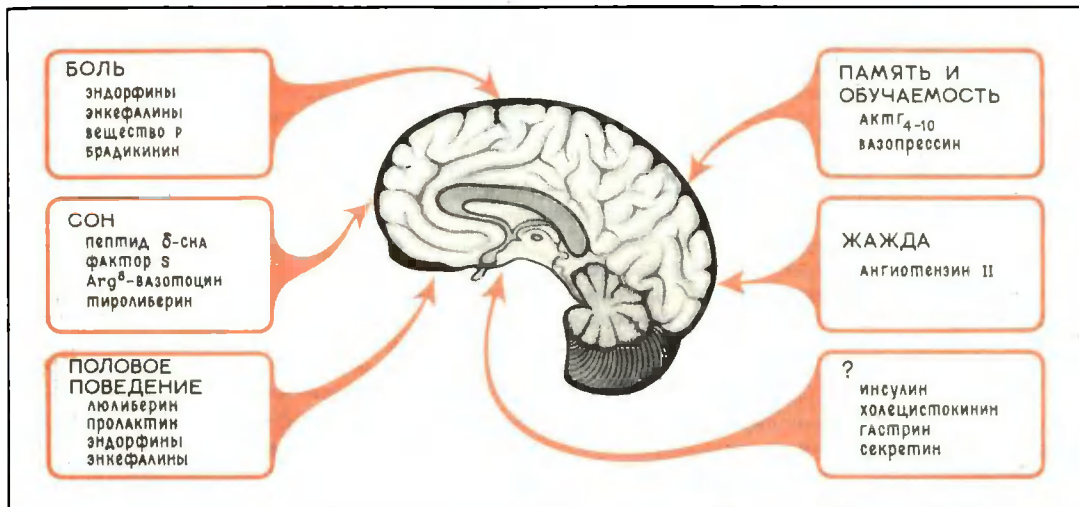
Киева, Риги, ученые социалистических стран.

Поистине феерические события происходят в генной инженерии. Мы уже научились, пока применительно к микроорганизмам, перестраивать генетический аппарат по своему усмотрению, «вырезать» гены из одних организмов и «вставлять» их в другие. Это уже конструирование живой материи! Получен большой набор ферментов, так называемых рестриктаз, позволяющих вести генетические операции, выделены многочисленные системы — векторы (например, плазмиды), способные осуществлять размножение рекомбинантных ДНК. Разработанная методология открывает громадные практические пер-

спективы о мрачных перспективах генной инженерии. Ведь не исключено, что при манипуляциях с генами микроорганизмов могут получаться агенты, опасные для человека. В будущем генетические операции станут возможны и на наследственном аппарате животных и человека. Действительно, область молекулярной генетики требует не только филигранного мастерства и глубокого осмысления проблемы, но и строжайшего контроля, особых условий проведения эксперимента. Жесткие правила, регламентирующие работу в генной инженерии, утверждены во многих странах, в том числе и в СССР. Опыт показывает, что при соблюдении этих условий можно гарантировать безопасность исследователя и окружающих при самых роковых ситуациях. Поднимаемые вопросы касаются не столько проблем научных, сколько общественных, этических, социальных. Развитие генной инженерии вряд ли удастся и вряд ли целесообразно сдерживать, надо направить его в нужное русло, заставить служить гуманным целям.

Одно из самых перспективных направлений физико-химической биологии связано с изучением биологических мембран. Мембраны окружают живую клетку, ее отсеки и органеллы, обеспечивая в них особые условия, отличные от внешней среды. Построенные главным образом из липидов и белков, биологические мембраны выполняют такие важные для организма функции, как перенос питательных веществ и ионов в клетку и из нее, встречу и индикацию чужеродных агентов, вирусов, лекарств, распознавание си-

изучение мембранных каналов, ответственных за транспорт ионов калия, натрия, кальция, водорода. В СССР достигнуты крупные успехи в исследовании Ca^{++} -каналов, особенно в нервных и мышечных тканях. Недавно расшифрована первичная структура (247 аминокислотных остатков) первого биологического протонного насоса — бактериородопсина и установлен порядок укладки этой цепи в нативной пурпурной мембране. Бактериородопсин использует для своего функционирования энергию солнечного света и обеспечива-



Пептиды мозга и их биологическое действие.

гналов окружающего мира, генерацию и превращение энергии. Они участвуют в передаче нервных импульсов, в восприятии гормонального действия, в обеспечении межклеточных контактов и т. п. Мембранная биология сформировалась в последние годы, и в ее становлении активную роль сыграли ученые нашей страны. Советским исследователям принадлежат фундаментальные исследования по биоэнергетике, по теории ионного транспорта через мембраны, по изучению мембрано-активных ионофоров, по молекулярным механизмам работы возбудимых и синаптических мембран нервной системы. Примером работ такого рода могут служить результаты исследования валиномицина — макроциклического антибиотика, созданного природой для избирательного переноса ионов калия через мембраны.

Особый интерес вызывает сейчас

эт таким образом жизнедеятельность галофильных бактерий, живущих в соляных озерах.

Исследования по биологическим мембранам принесли с собой и ряд результатов практического характера. Разработаны ион-селективные электроды, использующие в качестве рабочего тела мембранные ионофоры, развернуты исследования по ион-комплексирующим полиэфирам, использующим принципы работы мембранных систем и широко применяемым для разделения и извлечения редких металлов и изотопов, для солюбилизации неорганических солей в различных растворителях, для создания новых катализаторов в гомогенном катализе и т. п. Хотелось бы, чтобы эстафету этих исследований подхватили институты химико-биологического профиля в главных научных центрах нашей страны.

Физико-химическая биология добилась за последние годы крупных успехов в изучении нервной системы. Выяснены мембранные — электрические и хими-

ческие — механизмы генерации и распространения нервного возбуждения, открыты специфические регуляторы передачи нервного импульса и на этой основе предложены методы лечения разнообразных поражений нервной системы и нервно-психических расстройств. Интересными оказались в этом отношении токсины змей, скорпионов, ряда морских организмов, способные весьма избирательно взаимодействовать с наиболее чувствительными участками нервной системы.

Совсем недавно обнаружен поразительный факт — в мозгу животных и человека есть уникальные вещества, называемые нейропептидами, которые способны регулировать процессы сна и памяти, вызывать и снимать ощущения боли, чувства страха, тревоги и т. п. Таким образом, сравнительно простые химические соединения участвуют в сложнейших проявлениях высшей нервной деятельности, органически дополняя электрофизиологические механизмы торможения, возбуждения и распознавания. Некоторые из этих соединений уже выделены в чистом виде, установлено их строение, они получены синтетическим путем.

Круг проблем современной физико-химической биологии столь широк, что невозможно даже перечислить важнейшие направления и главные результаты. Тем не менее необходимо упомянуть крупные заслуги советских ученых в исследовании механизма биосинтеза белка в рибосомах, в изучении физико-химических механизмов фотосинтеза, в познании принципов работы мышцы и выяснении основ биологической подвижности, в развитии важнейших направлений онкологии, кардиологии, вирусологии и эндокринологии. Советские исследователи выполнили основополагающие работы по изучению механизма действия антибиотиков, по химии стероидных гормонов и других биорегуляторов. Всему миру известны успехи советской школы энзимологов. Наконец, весом вклад нашей науки в разработку физических методов исследования, непосредственно направленных на решение биологических проблем.

Однако существуют и такие направления, где наши заслуги и достижения не столь значительны. Прежде всего это касается иммунологии. Исследование строения и функции антител, механизмов иммунного ответа и возможностей его регуляции, выяснение рецепторов иммунной системы, антигенов на молекулярном, клеточном и организменном уровнях представляет со-

бой одну из центральных задач нашей физико-химической иммунологии, и сейчас есть основания полагать, что эта область начнет развиваться интенсивно.

Необходимо также усилить и работу по клеточной биологии, т. е. развернуть работы по широкому внедрению методов с культурами клеток и по выяснению природы клеточной и межклеточной регуляции, исследованию физико-химии клеточной поверхности, структуры и функции ее рецепторов и преобразователей. Больше внимание следует уделять клеточным механизмам действия гормонов, антибиотиков и синтетических лекарств, а также агентов и факторов внешней среды. Необходимо усилить работы по генетике вышших животных и человека, по развитию молекулярных основ эмбриологии, по выяснению строения и механизма действия интерферонов. С практической точки зрения необходимо активизировать разработку новых эффективных вакцин, получение и использование отечественных простагландинов, пестицидов, феромонов и новых синтетических лекарственных препаратов, создание новых продуктивных микроорганизмов для промышленного микробиологического синтеза. Сегодня биология занимает достойное место в современном естествознании, а физикохимическое направление биологии развивается особенно стремительно, оно богато крупными событиями, смелыми гипотезами.

В нашей стране это направление занимает достойное место во всем комплексе наук, ему оказывается сейчас особая поддержка со стороны нашей партии и государства. И нет сомнения в том, что мы еще не раз будем свидетелями его новых, значительных успехов.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Овчинников Ю. А., Иванов В. Т., Шкроб А. М. МЕМБРАНО-АКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСОНЫ. М., 1974.

СИНТЕЗ ПРОМОТОРНОЙ ОБЛАСТИ ДНК БАКТЕРИОФАГА FD. — «Биоорганическая химия». 1979, № 5, с. 138—144.

ПОЛНАЯ ПЕРВИЧНАЯ СТРУКТУРА ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ АСПАРТАТ-АМИНОТРАНСФЕРАЗЫ ИЗ СЕРДЕЧНОЙ МЫШЦЫ СВИНЬИ. — «Известия АН СССР, сер. хим.», 1974, № 5, с. 1189—1196.

СИНТЕЗ ГЕНА ЛЕЙЦИН-ЭНКЕФАЛИНА, ЕГО КЛОНИРОВАНИЕ И ЭКСПРЕССИЯ В КЛЕТКАХ E. COLI. — «Доклады АН СССР», 1979, с. 1486—1491.

«Экофильм-79». Заметки эколога

К. Н. Благосклонов,
кандидат биологических наук
Московский государственный уни-
верситет им. М. В. Ломоносова

21—25 мая прошлого года в Острове проходил VI Международный фестиваль кинофильмов об окружающей среде — «Экофильм-79». Его главный организатор, как и в прошлые годы, Федеральное министерство развития техники и капитального строительства Чехословакии. В организации этого фестиваля приняли участие Комиссия правительства ЧССР по вопросам окружающей среды, министерства сельского хозяйства и питания, лесного и водного хозяйства ЧССР, другие учреждения и несколько промышленных предприятий.

Фестивали экофильмов в Острове получили высокую оценку и поддержку у тбилисской Межправительственной конференции ЮНЕСКО — ЮНЕП по образованию в области окружающей среды. Конференция посчитала, что «Экофильм» может служить средством всемирного обмена опытом между специалистами по вопросам образования молодежи и взрослых в целях охраны и улучшения окружающей среды.

В работе «Экофильма-79» принимали участие представители Советского Комитета по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера»: его ответственный секретарь В. М. Неронов и член Рабочей группы по образованию и подготовке кадров — автор этой статьи.

На фестивале фильмов демонстрировалось 99 конкурсных фильмов и много других, внеконкурсных. Не случайно именно Чехословакия взяла на себя труд организации «Экофильмов»: здесь создается очень много фильмов экологического направления. Одна только фабрика короткометражных фильмов выпускает до 300 кинолент ежегодно, причем значительная часть их касается охра-



Один из призов, медаль фестиваля «Экофильм-79», которым были отмечены три советских фильма.



Главный приз фестиваля «Экофильм-79» за фильм «Белота 2000 года».

ны окружающей среды. Хозяева фестиваля показали 36 конкурсных фильмов, из которых, при всей строгости отбора, 8 были отмечены премиями, в том числе двумя главными, что говорит о высоком качестве чехословацкой кинопродукции.

По уставу «Экофильма» каждый фестиваль проходит под

девизом, который акцентирует внимание на одном из наиболее актуальных вопросов в области охраны природы. Тема «Экофильма-79» — «Техника для окружающей среды». Название непривычное. Технику чаще противопоставляют природе или по крайней мере ищут пути к их совмещению. Мы убедились в правомерности такой постановки вопроса при демонстрации первого же фильма — «Возрождение». По традиции это была лента, снятая здесь, на родине «Экофильма», в Острове. Она рассказывала о восстановлении ландшафта, рекультивации земель, превращенных промышленностью, преимущественно добывающей, в индустриальные пустыри, карьеры, терриконы, и о роли мощных механизмов, которые выполнили гигантскую восстановительную работу. Фильм оптимистический. И мощная техника, и результаты многолетних работ по восстановлению бывлой красоты (и производительности) природы — все убеждает зрителя, что человек — разумный хозяин своей планеты. Этот фильм стал как бы символом фестиваля.

Конечно, не все фильмы показывали достижения технической революции, поставленные на службу охраны окружающей среды. Были фильмы и грустные, и тревожные, но общий настрой их был все же деловой, и совсем не заметно было в них той безнадежности и растерянности, которая сквозила в произведениях начала 70-х годов. Вспоминается фильм — «Оборотная сторона прогресса» (у нас он назывался «Тени прогресса»), снятый в Англии и Америке. Его показывали на фестивале 1970 г. в Москве, и он был приобретен для проката в СССР. Там были показаны «ужасы» загрязнения окружающей среды, фильм обращал внимание, бил тревогу, пугал и для того времени был очень нужным. Теперь же фильмы больше рассказывают не о разрушениях в природе, а



Главный диплом фестиваля «Экофильм-79», который был вручен авторам фильма «Болота 2000 года».

о воссоздании ее, и именно это стало главной темой фестиваля.

Однако в подборе фильмов можно подметить существенный изъян: не было специально учебных фильмов. По-видимому, не только у нас их не умеют и не любят делать. Причина этого, как мне кажется, проста: творческая роль режиссера сводится в них только к пунктуальному выполнению идей лектора. Несравненно интереснее для режиссера сделать фильм научно-популярный. Здесь не нужно строго придерживаться программы, не нужно раскрывать поставленные вопросы от начала и до конца, возможна и желательна многоплановость, словом, такой фильм может быть «немного обо всем», тогда как учебный фильм, как

правило, строится по принципу «все о немногом».

И все-таки можно было найти фильмы, которые более или менее отвечали задачам иллюстрирования материала вузовских лекций по охране природы. Пример тому — уже упомянутый фильм «Возрождение».

Начиная с предыдущего V фестиваля, пропагандистское и образовательное значение «Экофильма» сильно возросло. В соответствии с решениями Тбилисской конференции при оценке фильмов большое внимание стало уделяться воспитательным аспектам. Тогда же был организован и международный семинар под эгидой ЮНЕСКО, проходящий в дни фестиваля. Тема семинара — «Воспитательная функция кино и телевидения в охране окружающей среды». Семинар показал, сколь важную роль отводит ЮНЕСКО отражению на экране этой проблемы века.

Фильмы фестиваля были сгруппированы по тематике и демонстрировались одновре-

менно в двух залах. На вечерних дискуссиях, в которых участвовали ведущие специалисты в той или иной области, обсуждались проблемы шума, охраны воздуха, охраны воды и взаимосвязей крупного сельскохозяйственного производства и окружающей среды.

Особое место на фестивале занял вопрос о борьбе с шумом. Только в последние годы становится понятной актуальность и значительность этой проблемы, поскольку стало известным, что шумы могут вызывать опасные недуги человека, порой в не меньшей степени, чем, например, химические загрязнения атмосферы. На эту тему было представлено 8 фильмов из 6 стран, их просмотр и дискуссия по проблеме заняли весь второй день фестиваля. Советский кинематограф не раз обращался к проблеме шума (вспоминается неплохой, но давний фильм Одесской студии «Ключи к тишине»), но этого явно недостаточно. Юридические обоснования для борьбы с шумом у нас есть. Это Основы законодательства по здравоохранению, многие частные решения местных органов советской власти. Проблема много раз и всесторонне обсуждалась в печати, и если собрать все газетные и журнальные статьи на эту тему, то получилось бы много-томное произведение. Однако и по сей день на улице, в общественном транспорте никто не гарантирован от музыки в транзитном исполнении. Кинематографисты разных стран через посредство «Экофильма» снова поставили вопрос о шумовом загрязнении биосферы. Проблема стала глобальной. Ее нужно решать.

Большое впечатление оставили фильмы, продемонстрировавшие применение некоторых машин для лесорубов. В финском фильме «Путь вперед» (он, как и другой финский фильм, премирован) показано, как то, что обычно называют валкой леса, происходит именно без валки. Кран с горизонтальными «щипцами» на конце стрелы, находясь на просеке, захватывает дерево за ствол, дерево спиливают; затем кран поднимает его немного вверх, в вертикальном положении выносит

на дорогу и укладывает на лесовозную машину, где его быстро разделявают электропилой. На лесосеке при такой вертикальной трелевке в полнейшей неприкосновенности остаются подпоры и подросток; повреждаются только параллельные линии просек-дорог. Поистине, этот эпизод можно было бы назвать «Деревья умирают стоя». С большой тщательностью сажают лес финские лесоводы. Они не обрабатывают почву для посадки леса на лесосеке, не применяют лесопосадочных машин (по крайней мере в фильме «Путь вперед»). Мощный кран выдергивает из земли пни на лесосеке, их увозят. Люди с лотками для саженцев и совком-лопатой сажают лес вручную, вокруг ям, оставшихся от пней, там, где выдернутые корни подняли, взрыхлили почву. Очевидно, такой «индивидуальный» подход к каждому саженцу обеспечивает хорошую приживаемость и рост деревьев.

В одном из американских фильмов показан процесс первичной обработки отходов при рубке леса. Их сгребают машины на месте разделки деревьев и бросают в приемник другой машины, которая перемалывает все в мелкую щепу. Автопогрузчик ссыпает этот, вполне транспортабельный полуфабрикат в самосвалы.

В некоторых фильмах вопрос защиты природы решался исключительно эмоциональными средствами: старик и его старая лошадь треплют бревна, чтобы не допустить в лес трелевочных машин. Старик мокает под дождем, лошадь падает в грязь, все это вызывает сочувствие и жалость у зрителя («Последний из рода», ЧССР). Такой фильм мало помогает в решении технической задачи трелевки леса без повреждения подраста, но воспитательное значение его немалое, во всяком случае, именно он запомнился ярые других.

Немалый успех выпал на долю советского фильма «Болота 2000 года» (режиссер В. Кузнецов, консультант член-корреспондент АН СССР В. А. Ковда, Центрнаучфильм, 1977), он был удостоен главной премии в категории «Экологизация крупного сельскохозяйственного

производства». Фильм показывает, что нельзя безнаказанно разрушать гармонию в водном хозяйстве, в котором лес и торфяные болота играют решающую роль. Основная мысль фильма — сохранить болота для будущих поколений — была близка и понятна зрителям, так как для большинства стран Европы стремление к осушению болот, в том числе и верховых сфагновых, — пройденный этап. Теперь все озабочены тем, как сохранить оставшиеся и восстановить утраченные. Дискуссия по фильму была оживленной, речь шла не только о сохранении, но и о неиспользованных хозяйственных возможностях сфагновых болот, этих гигантских естественных систем гидропонники.

Удостоены наград и еще три советских фильма: «За деревьями лес» (Рижская киностудия, 1978), «Соль земли» (Беларусьфильм, 1978) и «Планы и жизнь — заботы о будущем» (Гостелерадио, 1979).

Большую премию фестиваля получил фильм Федеральной Республики Германии «Шаг вперед», рассказывающий о ликвидации пыли в литейном цехе.

Главную премию по тематике «Окружающая среда поселений человека» жюри присудило фильму «Вода и окружающая среда», а по тематике «Формирование уравновешенного ландшафта» — фильму «Возобновление» (оба производства ЧССР). Четвертую главную премию по теме «Ограничение отрицательных влияний промышленности, энергетики и транспорта на окружающую среду» получил болгарский фильм «Гальваническое цинкование». Прочие премии вручены ЧССР (6), ФРГ, Польше и Финляндии — по две, Венгрии, Великобритании и Голландии — по одной. Среди мультипликационных фильмов премии удостоен детский фильм «Сверчок и машина», в котором излюбленный персонаж чехословацких сказок — ежик — играет неблагоприятную роль автомобилиста, загрязнителя атмосферы выхлопными газами. Это очень хорошо — знакомить детей с современными проблемами в области окружающей среды доступными их пониманию средствами, и этот фильм превосходит

но выполняет свою функцию.

Фестиваль показал единство стремлений кинематографистов из 19 разных стран к решению сложнейших проблем человечества. Многие фильмы только ставят тот или иной вопрос, другие предлагают конкретные решения. Разные проблемы, разные подходы, но фильмы заставляют задуматься каждого зрителя о своей роли в поисках гармонии во взаимодействии человека и природы.

Совместное решение общих для всех проблем охраны окружающей среды сближает народы и страны. Однако многое еще нужно сделать для объединения усилий в борьбе за охрану природы, и одна из первых задач — наладить обмен экологическими фильмами между странами, их производящими. Такой обмен дал бы возможность советским кинозрителям шире ознакомиться с современными проблемами охраны окружающей среды. Особенно нужны фильмы о шуме, и, конечно, все, отмеченные премиями на фестивале.

С другими фильмами necessarily необходимо ознакомить круг специалистов разных профилей. Не мало можно назвать фильмов, пригодных для использования в учебном процессе в курсе по охране природы или в спецкурсах некоторых вузов. Ведь в целом больше чем сто фильмов, показанных на фестивале, представляли собой своеобразную энциклопедию по самым различным аспектам охраны окружающей среды в быту, промышленности, сельском и лесном хозяйстве.

Нам бы хотелось пожелать отечественным кинематографистам — создателям экологических фильмов уделять больше внимания «Экофильму», а кинопромышленности выпустить повторно большими тиражами фильмы, удостоенные наград на ежегодном Международном фестивале в Острове, с тем чтобы их могли увидеть широчайшие массы советских кино- и телезрителей.

Следующий VII Международный кинофестиваль в Острове «Экофильм-80» намечено провести с 19 по 23 мая 1980 г. под девизом «Гармония человека и природы».

Реакторы на быстрых нейтронах в атомной энергетике

О. Д. Казачковский



Олег Дмитриевич Казачковский, доктор физико-математических наук, директор Физико-энергетического института Государственного комитета по атомной энергии. Основные научные интересы связаны с проблемой быстрых реакторов. Лауреат Ленинской премии.

Прошло 25 лет со времени пуска в нашей стране первой в мире атомной электростанции. Промышленное использование энергии атома открыло новые невиданные ранее возможности удовлетворения потребностей человека. Атомная энергетика прочно вошла в нашу жизнь. У нас и за рубежом работают и создаются многочисленные крупные АЭС. Атомная энергия используется для теплофикации, для промышленных нужд. Атомная энергетика развивается такими темпами, которых практически не знала обычная энергетика¹.

Возможность промышленного использования этого принципиально нового метода получения энергии появилась к тому моменту, когда начали ощущаться серьезные затруднения в развитии традиционной энергетике. Стала сильнее проявляться ограниченность обычных топливных ресурсов. Правда, на протяжении жизни нашего поколения мы не раз были свидетелями обнаружения все новых и новых месторождений органического топлива, и прогнозируемые сроки надвигающегося истощения традиционных энергетических ресурсов соответственно откладывались. Однако

во многих экономически развитых районах доступные запасы топлива уже не могут удовлетворить существующие потребности. Транспортировка же топлива и энергии на большие расстояния обходится недешево.

Нужно также учесть, что сжигание органических веществ, создаваемых и накапливаемых природой сотни миллионов лет, далеко не самый лучший способ их использования. Мы уничтожаем драгоценнейшие продукты, сырье для химической промышленности, сжигаем будущие предметы одежды, узлы оборудования и приборов, лекарства и многое другое. Ну как тут не вспомнить слова Д. И. Менделеева о том, что сжигать нефть — все равно, что топить ассигнациями.

И, наконец, если бы даже и существовали безграничные запасы органического топлива, дальнейшее увеличение масштабов его сжигания, несомненно, имело бы весьма отрицательные экологические последствия. Уже сейчас объем выбрасываемых газообразных продуктов сгорания в некоторых индустриальных районах земного шара чрезвычайно велик. В результате в воздухе создаются весьма высокие локальные концентрации вредных примесей (окислы серы и др.), пагубно сказывающихся на здоровье населения. Возрастает и опасность глобального повышения кон-

¹ Об этом см.: Хлопкин Н. С. Советская атомная энергетика. — «Природа», 1977, № 11.

центрации углекислого газа в атмосфере, недопустимого с точки зрения влияния на климат.

Атомная энергетика, в принципе, свободна от этих недостатков. Ее использование сохраняет столь нужные для человечества запасы органических веществ. Нет проблемы крупномасштабных выбросов в атмосферу². Правда, в результате работы АЭС (и предприятий атомного топливного цикла) образуются радиоактивные отходы, представляющие потенциальную опасность. И это нельзя сбрасывать со счета. Но здесь благоприятствующим является то обстоятельство, что объем радиоактивных отходов очень мал. Они весьма компактны, и их, в принципе, можно хранить в условиях, гарантирующих невозможность утечки наружу.

Принципиальная схема АЭС, как известно, весьма проста. При сгорании ядерного горючего в реакторе выделяется тепло. Это тепло идет на нагревание воды и превращение ее в пар. Последний подается в обычную турбину, и генератор вырабатывает электроэнергию. По существу схема преобразования ядерной энергии в электрическую в современных АЭС аналогична схеме преобразования энергии сгорания химического топлива в обычной электростанции.

Сразу же заметим, по отношению к ядерному топливу применяются те же термины, что и к химическому топливу — «сжигание», «выгорание». Однако здесь имеется в виду не химический процесс соединения с кислородом (хотя металлический уран, например, может гореть и в обычном понимании этого слова), а процесс деления ядер тяжелых атомов, как и химический, в конечном счете, приводящий к выделению тепла.

Опыт работы АЭС продемонстрировал их хорошие экономические и технологические возможности, удобство и надежность в эксплуатации. Вопреки распространенным среди некоторой части населения недоверию или даже «суеверным» опасениям, относящимся к работе АЭС, можно утверждать, что они отличаются достаточно высокой степенью безопасности³. Благодаря колоссальной удельной

теплотворной способности ядерного топлива (в миллионы раз большей, чем у обычного) АЭС практически не привязаны к сырьевым базам. Они уже сейчас экономически выгодны в обширных районах, где ограничены обычные энергетические ресурсы, в том числе и в Европейской части нашей страны.

Естественным и немаловажным является вопрос о ресурсах самого ядерного горючего. Достаточны ли его запасы, чтобы обеспечить широкое развитие атомной энергетики? По оценочным данным, на всем земном шаре в месторождениях, пригодных для разработки, имеется несколько миллионов тонн урана. Вообще говоря, — это не мало. Нужно, однако, учесть, что в хорошо отработанных и получивших ныне широкое распространение АЭС с реакторами на тепловых нейтронах (тепловыми реакторами) практически лишь очень небольшая часть урана (~1%) может быть использована для выработки энергии. Остальные 99% добываемого урана должны уходить в отвал. Поэтому оказывается, что при ориентации только на тепловые реакторы атомная энергетика по соотношению ресурсов не так уж много может добавить к обычной энергетике: всего лишь около 10%. Глобального решения проблемы надвигающихся энергетических ограничений не получается.

Совсем иная картина; иные перспективы появляются в случае применения АЭС с реакторами на быстрых нейтронах (быстрыми реакторами). Такие энергетические реакторы могут использовать практически все 100% добываемого урана. Это означает, что потенциальные ресурсы атомной энергетики с быстрыми реакторами примерно в 10 раз выше по сравнению с традиционной (на органическом топливе). Больше того, при полном использовании урана становится рентабельной его добыча и из очень бедных по концентрации месторождений, которых довольно много на земном шаре. А это, в конечном счете, означает практически неограниченное (с точки зрения современных масштабов) расширение потенциальных сырьевых ресурсов атомной энергетики.

Работы по созданию быстрых реакторов ведутся в нашей стране с 1949 г. С самого начала и вплоть до 1972 г. их возглавлял научный руководитель Физико-энергетического института в Обнинске известный физик-ядерщик Александр Ильич Лейпунский (1903—1972).

² Об этом см.: Бабаев Н. С., Демин В. Ф., Кузьмин И. И., Степанчиков В. И. Экологические проблемы атомной энергетики. — «Природа», 1978, № 10.

³ Подробнее см.: Александров А. П. Перспективы энергетики. — «Известия», 11 апреля, 1979.

ВОСПРОИЗВОДСТВО ЯДЕРНОГО ГОРЮЧЕГО

По своей сущности быстрый реактор, на первый взгляд, мало чем отличается от теплового. В обоих случаях при делении урана (или другого ядерного горючего) образуются быстрые нейтроны практически одного и того же энергетического спектра со средней энергией ~ 2 МэВ. В результате ядерных взаимодействий с материалами реактора нейтроны замедляются и их энергия снижается. Определенная часть нейтронов снова попадает в ядра урана и вызывает их деление. Этим, собственно говоря, и обеспечивается протекание самоподдерживающейся цепной реакции как в тепловом реакторе, так и в быстром.

Различие между ними основано на том, что в тепловом реакторе специально помещаются материалы, способствующие интенсивному замедлению нейтронов (обычная и тяжелая вода, графит). Деление ядер в тепловом реакторе вызывается сильно замедленными нейтронами, находящимися практически в тепловом равновесии со средой. Отсюда и название — тепловые нейтроны. Их энергия составляет сотые доли электронвольта.

В быстром же реакторе таких специальных замедлителей нет, и деление ядер происходит при взаимодействии с ними быстрых нейтронов, энергия которых лишь ненамного ниже первоначальной — примерно несколько сот тысяч электронвольт. В этом и состоит все физическое различие, казалось бы, небольшое, ибо выделяется одна и та же энергия деления, образуются одни и те же продукты деления, вылетает одинаковое количество вторичных нейтронов. Но это различие приводит к далеко идущим последствиям технического и экономического характера, что определяется уже специфическими особенностями использования ядерного топлива в реакторе вообще. Остановимся на этом подробнее.

Многие атомы обладают способностью делиться под действием нейтронов. Однако далеко не все из них можно использовать в качестве ядерного горючего. К категории ядерного горючего относят только те делящиеся изотопы, которые самостоятельно могут обеспечить протекание незатухающей цепной реакции. В природе, как известно, существует только один вид ядерного горючего изотоп ^{235}U , содержащийся в естественном уране в количестве 0,7%. Остальные 99,3% при-

ходятся на долю ^{238}U , который сам не является горючим, но может служить сырьем для производства нового ядерного горючего ^{239}Pu .

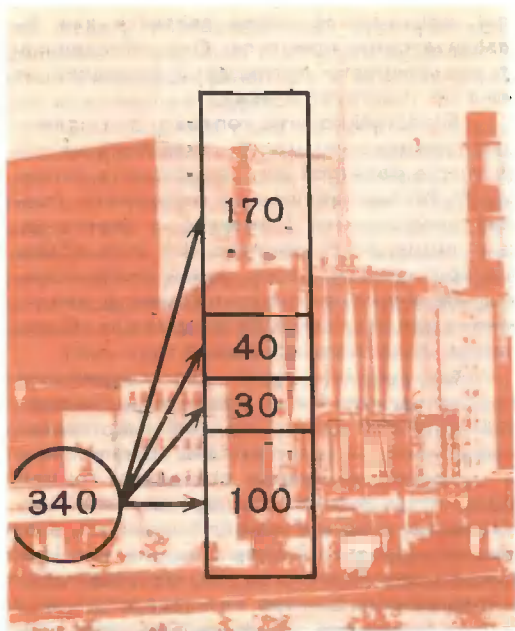
Преобразование ядерного сырья в горючее происходит в результате его облучения нейтронами. Атом сырья, поглотив нейтрон, превращается затем в атом горючего. В ядерном реакторе практически всегда вместе с горючим находится и сырьё, которое, естественно, облучается нейтронами и постепенно превращается в новое топливо. Это значит, что при работе реактора в общем случае происходит два противоположно направленных процесса: выгорание топлива и образование нового топлива. Иными словами, имеет место воспроизводство горючего⁴. Количественная характеристика воспроизводства — отношение скорости образования топлива к его выгоранию называется коэффициентом воспроизводства (КВ).

На первый взгляд может показаться, что величину этого коэффициента по желанию можно сделать сколь угодно большой. Достаточно только поместить в реактор побольше сырья. Однако это далеко не так. Количество атомов сырья, которое может находиться в реакторе, вовсе не произвольно. Оно строго ограничивается условиями баланса нейтронов в цикле цепной реакции. Число образующихся нейтронов при делении одного атома (ν) не очень велико. В среднем оно составляет 3. Для того чтобы цепная реакция была стационарной⁵, нужно, очевидно, чтобы один из вторичных нейтронов (именно один!) снова попал в атом горючего и вызвал новое деление. В следующем цикле это должно повториться и т. д.

Таким образом, количество остающихся «свободных» нейтронов (на один акт

⁴ Строго говоря, термин «воспроизводство» относится к случаю, когда выгорающее и вновь образующееся горючее — одно и то же, т. е. когда в реакторе с самого начала находится ^{239}Pu . Если же первичным топливом является ^{235}U , то в процессе работы реактора происходит постепенная замена его на ^{239}Pu . Такой цикл называется конверсионным. Для простоты мы будем говорить здесь только о цикле воспроизводства, имея в виду, что для быстрых реакторов он является основным. Конверсионный цикл может быть только стартовым, ибо по мере накопления ^{239}Pu последний сам начинает выгорать и, в конечном счете, происходит полный переход к циклу воспроизводства.

⁵ К стационарным относят такие реакции, у которых интенсивность делений (количество атомов, делящихся в единицу времени) сохраняется постоянной.



Примерная схема баланса нейтронов в быстром реакторе. На 100 делений образуется 300 вторичных нейтронов. После размножения на атомах сырья их число увеличивается до 340. Из них 100 вызывают деление атомов горючего в следующем цикле; 30 претерпевают радиационный захват в горючем; 40 поглощаются в конструкционных и других неделящихся материалах; 170 поглощаются в сырье, образуя столько же атомов нового горючего. В балансе горючего учитываются 30 атомов, «потерянных» в результате радиационного захвата. Коэффициент воспроизводства $K_{\text{в}} = \frac{170 - 30}{100} = 1,4$.

деления) составляет $\gamma - 1$. Их число и определяет, в принципе, допустимое количество сырья в реакторе. Его должно быть равно столько, чтобы поглощались только «свободные» нейтроны, не больше. Иначе нейтронов не хватит на продолжение цепной реакции, и она станет затухать. Если не учитывать других обстоятельств, то величина коэффициента воспроизводства (в очень грубом приближении) должна была бы равняться $\gamma - 1$. Эта величина практически одинакова как для тепловых, так и быстрых реакторов.

В действительности, однако, баланс нейтронов в реакторе более сложен, и учет всех действующих факторов принципиально меняет положение. Прежде всего следует принять во внимание, что атомы сырья обладают некоторой способностью делиться (под действием быстрых нейтронов). В результате происходит дополнительное размножение нейтронов. Этот эффект дает заметный вклад только в быстрых реакторах.

Необходимо далее учесть существование паразитной реакции поглощения нейтронов без деления (радиационного захвата) в самом ядерном горючем. Относительная вероятность этой реакции для быстрых нейтронов заметно меньше, чем для тепловых.

Менее интенсивными также (благодаря относительно меньшей вероятности взаимодействия) оказываются и непроизводительные потери быстрых нейтронов за счет захвата в конструкционных и других неделящихся материалах. Все эти факторы благоприятно сказываются на нейтронном балансе в пользу быстрых реакторов.

В расчете коэффициента воспроизводства надо учитывать не только баланс нейтронов, но и баланс самого горючего, поскольку часть атомов горючего исчезает в результате упомянутого выше радиационного захвата нейтронов⁶.

Таким образом, процесс радиационного захвата нейтронов в ядерном горючем, с точки зрения величины коэффициента воспроизводства, вреден вдвойне — непроизводительно теряются как нейтроны, так и ядра самого горючего.

В конечном счете, с учетом всех этих обстоятельств величина коэффициента воспроизводства для быстрых реакторов (в общем случае различная для разных конструкций) оказывается значительно выше, чем для тепловых. Качественное различие связано с тем, что для быстрых реакторов она обязательно выше единицы ($\sim 1,2 - 1,4$), для тепловых — наоборот, всегда заметно ниже ($\sim 0,5 - 0,7$). Следовательно, в быстрых реакторах имеет место расширенное воспроизводство топлива и, практически, все урановое сырье может быть превращено в ядерное горючее и сожжено. Для случая тепловых реакторов это невозможно. Здесь выгорает только ^{235}U , а также очень небольшая часть ^{238}U , которая может быть превращена в них в горючее.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ

Итак, применение быстрых реакторов расширяет топливную базу атомной энер-

⁶ Образующиеся при этом атомы ^{240}Pu уже не обладают свойствами ядерного горючего. Сам ^{240}Pu может частично делиться при взаимодействии с быстрыми нейтронами и притом даже заметно лучше, чем ^{238}U . Однако интенсивность его непосредственного выгорания все же намного меньше, чем горючего.

гетики примерно в 100 раз. Значение этого обстоятельства трудно переоценить.

У непосвященного читателя, однако, после всего сказанного может возникнуть законный вопрос. Если быстрые реакторы так хороши, если они существенно превосходят тепловые по эффективности использования урана, то почему последние вообще строятся? Почему бы с самого начала не развивать атомную энергетику на основе быстрых реакторов?

Прежде всего следует сказать, что на первом этапе развития атомной энергетики, когда суммарная мощность АЭС мала и ^{235}U хватает, вопрос о воспроизводстве не стоит остро. Поэтому основное преимущество быстрых реакторов — большой коэффициент воспроизводства — еще не является решающим.

С другой стороны, вначале быстрые реакторы оказались еще просто не готовыми к внедрению. Дело в том, что при своей кажущейся относительной простоте (отсутствии замедлителя) они технически более сложны, чем тепловые реакторы. Для их создания необходимо было решить ряд новых серьезных задач, что, естественно, требовало соответствующего времени. Эти задачи связаны, в основном, с дополнительными специфическими особенностями использования ядерного топлива, которые, как и способность к воспроизводству, по-разному проявляются в реакторах различного типа. Однако в отличие от последней эти особенности сказываются более благоприятно не в быстрых, а в тепловых реакторах.

Первая из этих особенностей заключается в том, что ядерное топливо не может быть израсходовано в реакторе полностью, как расходуется обычное химическое топливо. Последнее, как правило, сжигается в топке до конца. Возможность протекания химической реакции практически не зависит от количества вступающего в реакцию вещества. Ядерная же цепная реакция не может идти, если количество горючего в реакторе меньше некоторой определенной величины, называемой критической массой.

Уран (или плутоний), составляющий критическую массу, по существу, не является горючим, в собственном смысле этого слова. Он, можно сказать, на время как бы превращается в некоторое инертное вещество наподобие железа или других конструкционных материалов, находящихся в реакторе. Выгорать может лишь та часть горючего, которая загружается в реактор сверх критической массы. Таким обра-

зом, критическая масса является как бы катализатором процесса. Она обеспечивает возможность протекания реакции, но сама не участвует в ней.

Естественно, что топливо, составляющее критическую массу, физически не отделимо в реакторе от выгорающего топлива. В тепловыделяющих элементах (ТВЭлах), загружаемых в реактор, с самого начала помещается топливо как для создания критической массы, так и для выгорания. Величина критической массы неодинакова для различных реакторов и, в общем случае, относительно велика.

Так, например, для нашего серийного энергетического блока с тепловым реактором ВВЭР-440 (водо-водяной энергетический реактор мощностью 440 МВт) величина критической массы составляет около 700 кг ^{235}U . Это количество соответствует количеству угля — 2 млн т. Иными словами, применительно к электростанции на угле той же мощности это как бы означает обязательное наличие при ней такого довольно значительного неприкосновенного запаса угля. Ни один килограмм из этого запаса не расходуется и не может быть израсходован. Однако без него электростанция работать не может.

Наличие такого крупного количества «замороженного» топлива, хотя и сказывается отрицательно на экономических показателях, но в силу реально сложившихся соотношений затрат для тепловых реакторов оказывается еще не слишком обременительным. В случае же быстрых реакторов с этим приходится считаться более серьезно.

Быстрые реакторы обладают критической массой существенно большей, чем тепловые (при заданном размере реактора). Это объясняется тем, что быстрые нейтроны при взаимодействии со средой оказываются как бы более «инертными», чем тепловые. В частности, вероятность вызвать деление атома горючего (на единице длины пути) для них значительно (в сотни раз) меньше, чем для тепловых. Для того чтобы быстрые нейтроны не вылетали без взаимодействия за пределы реактора и не терялись, их «инертность» необходимо компенсировать увеличением количества закладываемого горючего с соответствующим возрастанием критической массы.

Чтобы быстрые реакторы здесь не проигрывали, нужно, очевидно, повышать мощность, развиваемую при заданных габаритах реактора. Тогда количество «замороженного» топлива на единицу мощно-

сти будет, соответственно, уменьшаться. Достижение высокой плотности выделения тепла в быстром реакторе и явилось главной инженерной задачей.

Заметим, что сама по себе мощность непосредственно не связана с количеством горючего, находящегося в реакторе. Если это количество превышает критическую массу, то в нем за счет созданной нестационарности цепной реакции можно развить любую требуемую мощность. Все дело в том, чтобы обеспечить достаточно интенсивный отвод тепла из реактора.

Речь идет именно о повышении плотности выделения тепла, ибо увеличение, например, размеров реактора, способствующее увеличению отвода тепла, неизбежно влечет за собой и увеличение критической массы, т. е. не решает задачи.

Положение здесь осложняется тем, что для отвода тепла из быстрого реактора такой привычный и хорошо освоенный теплоноситель, как обычная вода, оказывается неподходящим по своим ядерным свойствам. Она, как известно, замедляет нейтроны и, следовательно, понижает коэффициент воспроизводства. Газовые теплоносители (гелий и др.) обладают в данном случае приемлемыми ядерными параметрами. Однако требования интенсивного теплоотвода приводят к необходимости использовать газ высоких давлений (≥ 150 атм), что вызывает свои технические трудности.

В качестве теплоносителя для отвода тепла из быстрых реакторов был выбран обладающий прекрасными теплофизическими и ядернофизическими свойствами расплавленный натрий. Он позволил решить поставленную задачу достижения высокой плотности выделения тепла (~ 1000 кВт на литр объема), т. е. примерно в 10—12 раз большей, чем для реакторов типа ВВЭР. С экономической точки зрения, этого вполне достаточно.

Следует указать, что в свое время выбор «экзотического» натрия казался очень смелым решением. Не было никакого не только промышленного, но и лабораторного опыта его использования в качестве теплоносителя. Вызывала опасения высокая химическая активность натрия при взаимодействии с водой, а также с кислородом воздуха, которая, как представлялось, могла весьма неблагоприятно проявиться в аварийных случаях.

Потребовалось проведение большого комплекса научно-технических исследований и разработок, сооружение стендов и специальных экспериментальных быстрых

реакторов для того, чтобы убедиться в хороших технологических и эксплуатационных свойствах натриевого теплоносителя. Как было при этом показано, необходимые условия для обеспечения высокой степени безопасности определяются следующими мерами. Во-первых, тщательностью изготовления и контроля качества всего оборудования, соприкасающегося с натрием. Во-вторых, созданием дополнительных страховочных кожухов на случай аварийной протечки натрия. В-третьих, использованием чувствительных индикаторов течи, позволяющих достаточно быстро регистрировать начало аварии и принимать меры к ее ограничению и ликвидации.

Кроме обязательного существования критической массы есть еще одна характерная особенность использования ядерного горючего, связанная с теми физическими условиями, в которых оно находится в реакторе. Под действием интенсивного ядерного излучения и температуры и, в особенности, в результате накопления продуктов деления происходит постепенное ухудшение физико-механических, а также ядерно-физических свойств топливной композиции (смеси топлива и сырья). Вещество, образующее критическую массу, становится непригодным для дальнейшего использования. Его приходится периодически извлекать из реактора и заменять свежим. Извлеченное топливо для восстановления первоначальных свойств должно подвергаться регенерации. В общем случае — это трудоемкий, длительный и дорогой процесс.

Изменение свойств ядерного горючего под облучением равносильно как бы постепенному ухудшению качества того угля, эквивалентный запас которого, как было сказано, должен находиться в неприкосновенности на электростанции. Со временем этот уголь становится непригодным для хранения (и для сжигания тоже) и подлежит замене на свежий.

Для тепловых реакторов содержание топлива в топливной композиции относительно небольшое — всего несколько процентов⁷. Для быстрых же реакторов соответствующая концентрация топлива значительно выше (15—30%). Частично это связано с уже отмеченной выше необходимостью увеличивать вообще количество топлива в быстром реакторе для создания критической массы в заданном

⁷ В некоторых тепловых реакторах может даже использоваться природный уран, т. е. с содержанием топлива 0,7%.

Таблица 1

Демонстрационные реакторы¹

Характеристика	Действующие			Строящиеся		Проектируемый
	БН-350 (СССР, г. Шевченко)	Феникс (Франция)	PER (Англия)	SNR-300 (ФРГ)	CRBR (США)	MONJU (Япония)
Электрическая мощность, МВт	150 ²	250	250	300	350	300
Компоновочная схема реактора	петлевая	интегральная	интегральная	петлевая	петлевая	петлевая
Температура теплоносителя на выходе из реактора, °С	500	562	560	546	534	540
Давление пара, кгс/см ²	50	163	162	165	102	127
Температура пара, °С	435	512	538	495	482	483
Время ввода в строй, г	1973	1973	1974	1983	—	1986

¹ Экспериментальные реакторы не указаны.

² Остальная энергия расходуется на опреснение воды (120 000 т пресной воды в сутки).

объеме. Главное же здесь в том, что отношение вероятностей вызвать деление атома горючего или быть захваченным в атоме сырья различно для различных нейтронов. Для быстрых нейтронов оно в несколько раз меньше, чем для тепловых, и, следовательно, содержание топлива в топливной композиции быстрых реакторов должно быть соответственно больше. Иначе слишком много нейтронов будет поглощаться атомами сырья, и стационарная цепная реакция деления в горючем окажется невозможной.

Работоспособность твэлов при прочих равных условиях определяется глубиной выгорания — допустимой концентрацией продуктов деления, накапливаемых в топливной композиции в целом. При равном накоплении продуктов деления в быстром реакторе, следовательно, выгорит в несколько раз меньшая доля заложенного горючего, чем в тепловом. Это приведет, соответственно, к относительно большому объему регенерации ядерного горючего быстрых реакторов. В экономическом отношении это был бы заметный проигрыш.

Здесь следует учесть в эффект неизбежных технологических потерь топлива при регенерации. Если, например, концентрация топлива в топливной композиции 20%, а глубина выгорания композиции всего лишь 2%, то это означает, что каждый килограмм топлива перед тем, как полно-

стью выгореть, должен 10 раз пройти регенерацию. Если в одном цикле регенерации потери составляют, скажем, 2%, то общие потери будут равняться 20%. Это равносильно, в конечном счете, снижению коэффициента воспроизводства на 0,2, что также, вообще говоря, является неприемлемым.

Кроме достижения высокой плотности тепловыделения перед специалистами стояла вторая важная техническая задача, вытекающая из стремления скомпенсировать высокую концентрацию горючего в топливной композиции быстрых реакторов. Требовалось создать твэлы, в которых достигалось бы глубокое выгорание (до 10%) топливной композиции: в несколько раз большее, чем в тепловых реакторах. Задача тоже была успешно решена, хотя для этого пришлось даже несколько поступиться величиной коэффициента воспроизводства. Дело в том, что, с точки зрения величины коэффициента воспроизводства, наиболее выгодно использование в твэлах «чистой» металлической топливной композиции. Однако встретившиеся затруднения, прежде всего с обеспечением глубокого выгорания, вынудили перейти, по крайней мере для первого поколения быстрых реакторов, к использованию менее выгодной, но зато более стойкой керамической композиции — на основе оксидного топлива (смесь окиси урана и окиси плутония).

Таблица 2

Энергетические реакторы

Характеристика	Действующий	Строящийся	Проектируемые			
	БН-600 (СССР, Свердловск)	Суперфеникс (Франция)	БН-1600 (СССР)	DCFR (Англия)	SNR-2 (ФРГ)	— (США)
Электрическая мощность, МВт	600	1200	1600	1300	1300	1500
Компоновочная схема реактора	интеграль- ная	интеграль- ная	интеграль- ная	интеграль- ная	петлевая	петле- вая
Коэффициент воспроизводства	1,3	1,18	1,35—1,40	1,25	1,17—1,25	1,25
Температура теплоносителя на выходе из реактора, °C	550	540	545	540	540	540
Давление пара, кгс/см ²	140	180	140	160	170	150
Температура пара, °C	505	490	490	490	490	480
Время ввода в строй, г.	1979	1983	—	—	—	—

НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ

Потребовалось определенное время для решения необходимых технических задач, и поэтому первая промышленная (демонстрационная) АЭС с быстрым реактором БН-350 была введена в строй только в 1973 г., т. е. спустя 19 лет после пуска первой в мире АЭС. Эта демонстрационная АЭС, расположенная на берегу Каспия в г. Шевченко, вырабатывает как электроэнергию, так и пресную воду для бытовых и технических нужд (см. табл. 1).

Принципиальная технологическая схема БН-350 (так же как и других быстрых реакторов) несколько сложнее, чем, например, двухконтурная схема реакторов типа ВВЭР. Она — трехконтурная. При прохождении через реактор натрия первого контура нагревается и, кроме того, становится сильно радиоактивным. Тепло из первого контура передается в промежуточных теплообменниках нерадиоактивному натрию второго контура. И уже он в парогенераторах отдает тепло воде и пару третьего контура. Второй промежуточный натриевый контур введен для страховки, чтобы не допустить контакта воды с радиоактивным натрием в случае аварии. Общее количество натрия в системе ~1000 т. В номинальном режиме (на полной мощности) рабо-

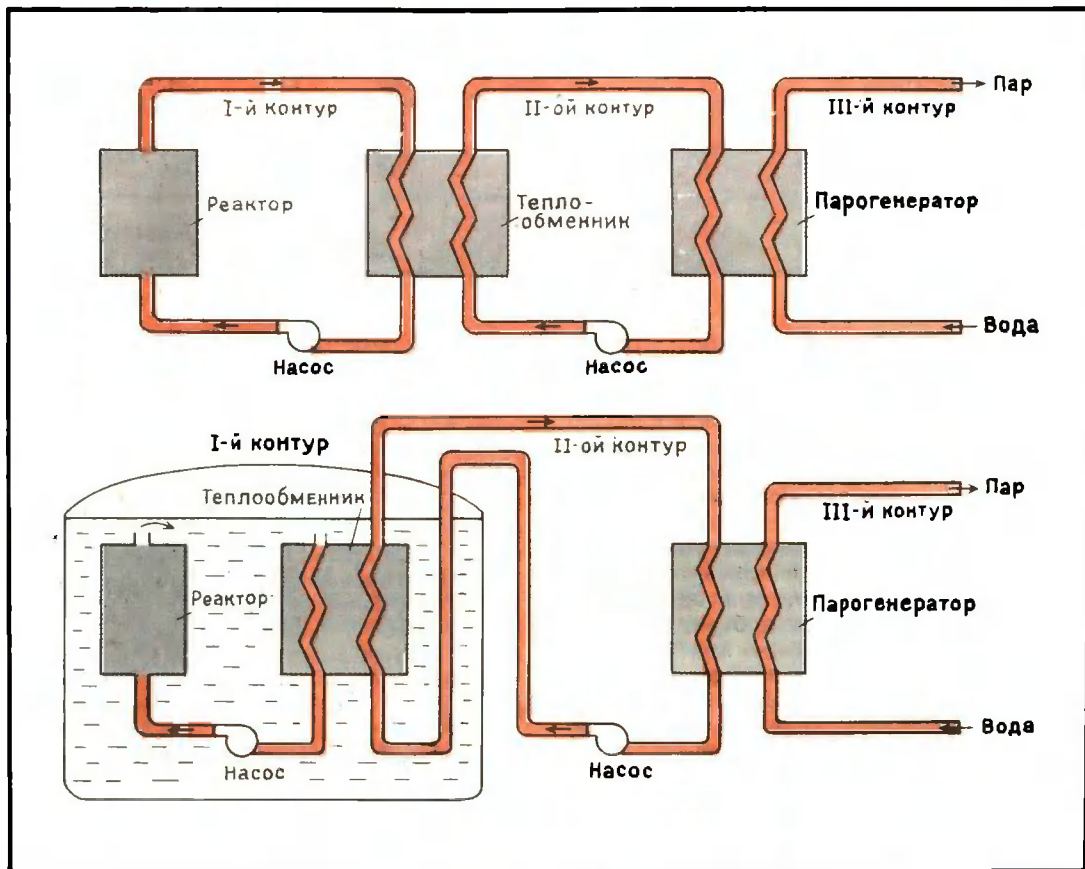
туют пять параллельных петель отвода тепла со своими насосами, теплообменниками и парогенераторами каждая.

Опыт работы БН-350 продемонстрировал высокие технические и эксплуатационные качества крупной энергетической натриевой установки. Плотность выделения тепла в реакторе и глубина выгорания твэлов существенно превосходят соответствующие параметры для тепловых реакторов и обеспечивают достаточно хорошие экономические показатели. Все оборудование и узлы самого реактора, натриевых контуров, система перегрузки твэлов и др. работают с самого начала уверенно, практически без замечаний. Подтверждены весьма хорошие технологические свойства жидкого натрия, используемого в качестве промышленного теплоносителя. Во-первых, это практическое отсутствие коррозионного воздействия натрия на конструкционные (и топливные) материалы во всем рабочем диапазоне температур. И, во-вторых, это низкие давления жидкого натрия в корпусе реактора и контурах (не более 10 ат), определяемые, по существу, только сопротивлением трубопроводов (максимальная рабочая температура натрия выбрана значительно ниже его точки кипения).

Некоторые затруднения (и то лишь в начальный период эксплуатации) из всего оборудования доставили только парогенераторы. Имело место несколько аварийных

случаев появления в них протечек воды в натрий. Эти аварии были связаны с дефектами изготовления парогенераторов, пропущенными при заводском контроле. Аварии парогенераторов вызвали сравнительно длительное отключение отдельных петель для производства ремонта. Однако они не приводили к каким-либо серьезным последствиям. После «отбраковки» дефектных парогенераторов на месте и проведенного ремонта реактор БН-350 уже несколько лет работает нормально с высоким коэффициентом использования.

(а не пятью) параллельными петлями теплоотвода. Общее количество натрия в БН-600—1800 т. В нем, в отличие от БН-350, применена так называемая интегральная компоновка, при которой реактор вместе с оборудованием и трубопроводами первого контура помещается внутри большого бака (диаметром ~ 13 м), заполненного натрием. При этом достигается заметный выигрыш в габаритах системы и повышается безопасность в некоторых аварийных режимах. Недостатком интегральной компоновки по сравнению с пет-



Схемы отвода тепла в быстрых реакторах: сверху — при петлевой компоновке (БН-350); внизу — при интегральной компоновке (БН-600).

Завершается строительство еще более крупного быстрого реактора БН-600 на Белоярской АЭС (см. табл. 2). По своей мощности он соответствует уже крупным современным промышленным блокам. Как и БН-350, он трехконтурный, но с тремя

левой, примененной на БН-350, является некоторое усложнение конструкции. Дальнейшая эксплуатация поможет выявить преимущества и недостатки обеих систем.

В нашей стране ведется разработка проекта энергетического быстрого реактора следующего поколения БН-1600 (см. табл. 2).

Интересно отметить, что такой важный параметр, как рабочая температура натрия, в разрабатываемых разными странами

быстрых реакторах примерно одинаков. Он выбран, исходя из стремления иметь достаточно хорошие термические параметры рабочего цикла и в то же время не выйти за пределы надежной работы элементов реактора. Хорошая величина термического КПД промышленных быстрых реакторов ($\sim 40\%$ — главным образом, за счет использования натрия с высокой рабочей температурой) — еще одно преимущество быстрых реакторов по сравнению с тепловыми реакторами на воде, КПД которых значительно ниже ($\sim 30\%$).

Принятые в быстрых реакторах рабочие температуры (и, соответственно, КПД) являются в настоящее время оптимальными. Вряд ли можно ожидать в будущем сколько-нибудь заметного их увеличения. Это нецелесообразно не только по техническим, но и по экономическим соображениям.

Структура затрат в атомной энергетике такова, что, в отличие от обычной энергетики, доля стоимости электроэнергии, связанная с топливом, относительно невелика. Для быстрых реакторов она особенно мала и не превышает $10\text{--}15\%$ всех затрат. В обычных электростанциях (на органическом топливе), где основная доля затрат приходится на топливо, весьма важно добиваться всемерного повышения КПД (в основном, за счет повышения удельных капитальных затрат). Для АЭС вообще, и с быстрыми реакторами в особенности, наоборот, целесообразнее стремиться к снижению стоимости самой станции (в расчете на 1 кВт электроэнергии) даже за счет некоторого снижения КПД. Оптимальные рабочие температуры пара для АЭС с быстрыми реакторами, во всяком случае, должны быть ниже принятых в обычной энергетике.

Одним из путей снижения удельных капитальных затрат является повышение единичной мощности блока. Благоприятствующими обстоятельствами здесь являются компактность быстрых реакторов, отсутствие в них высоких давлений.

Быстрые реакторы выгоднее всего запускать вначале на плутонии, образуемом при работе тепловых реакторов. Ценность этого плутония (прежде всего за счет большого коэффициента воспроизводства) для быстрых реакторов значительно выше, чем для тепловых. Дальнейшее развитие быстрых реакторов должно происходить уже на «собственном» плутонии.

Важным вопросом является определение возможного темпа самостоятельного развития атомной энергетики на быст-

рых реакторах, т. е. без получения горючего извне. В принципе, он определяется относительной скоростью производства дополнительного горючего, пропорциональной величине $(KB - 1)$, где KB — коэффициент воспроизводства. По существующим оценкам, возможное увеличение общей мощности всех быстрых реакторов за год (с ныне применяемым керамическим оксидным топливом) по отношению к существующей может достигать $7\text{--}10\%$. Если по тем или иным причинам окажется целесообразным увеличить темпы развития атомной энергетики на быстрых реакторах, то одной из возможностей для этого явится использование в активной зоне других, более выгодных топливных композиций. В случае, например, применения металлического топлива (смесь урана с плутонием), величина $(KB - 1)$ может примерно удвоиться.

К настоящему времени продемонстрированы хорошие технологические качества промышленных быстрых реакторов. Их экономическая целесообразность видна уже сейчас и, несомненно, она будет неуклонно расти в будущем по мере истощения запасов относительно дешевого урана, выжигаемого в АЭС с тепловыми реакторами. Сооружение быстрых реакторов необходимо вести в достаточных масштабах заранее, до того, как начнут ощущаться затруднения с добычей урана. Иначе будет слишком поздно, ибо не удастся развить необходимые мощности на быстрых реакторах в короткие сроки. Поэтому скорейшее промышленное освоение в широких масштабах энергетических быстрых реакторов является важнейшей народнохозяйственной задачей.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Казачковский О. Д. ЭКОНОМИКА ЯДЕРНОГО ГОРЮЧЕГО В БЫСТРЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ (докл. № 2028). — В сб.: Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Доклады советских ученых. М., 1959, т. 2, с. 188.

Багдасаров Ю. Е. и др. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ. М., 1969.

АТОМНАЯ НАУКА И ТЕХНИКА В СССР. М., 1977, с. 50.

Липосомы в медицине

В. П. Торчилин



Владимир Петрович Торчилин, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Всесоюзного кардиологического научного центра Академии медицинских наук СССР. Научные интересы связаны с проблемами стабилизации ферментов, применения иммобилизованных ферментов в медицине, направленного транспорта лекарств в организме.

Липосомы известны уже около 20 лет с тех пор, как впервые было обнаружено, что при механическом воздействии на дисперсии фосфолипидов образуются небольшие сферические пузырьки.

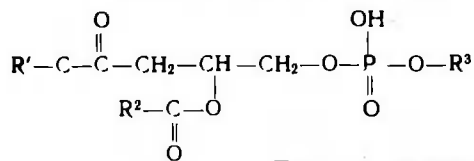
Эти образования, представляющие собой двойные мембраны, в которых молекулы фосфолипида обращены неполярными частями друг к другу, а полярными частями в водный раствор, и были названы липосомами. Обычно размер липосом колеблется от нескольких сотен ангстрем для мелких липосом (состоящих из одного двойного слоя, — ламеллы, так называемых, моноламеллярных) до нескольких тысяч ангстрем или даже до микрона для крупных мультислойных липосом (состоящих из многих двойных слоев).

Липосомы привлекли внимание исследователей прежде всего как прекрасная экспериментальная модель природных биологических мембран, позволяющая изучать многие свойства природных мембран, связанные, в первую очередь, с составом и состоянием фосфолипидной фазы. Известно, что биологические мембраны состоят из тех же фосфолипидных бислоев, хотя и содержат в себе еще и многочисленные белковые молекулы.

Совсем недавно поднялась вторая волна интереса к липосомам в связи с возможностью их использования в медицине, в первую очередь, в качестве средства для транспорта лекарств в организме. Пioneром этого направления стал английский исследователь Г. Грегориадис.

Использованию липосом в медицине и посвящена наша статья.

Структура молекулы фосфолипида



Неполярный «хвост»
(остатки жирных кислот)

Полярная «голова»
(производное фосфорной кислоты)

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ЛИПОСОМ

К настоящему времени разработано несколько способов получения липосом, каждый из которых позволяет получать липосомы не только самых разных размеров и с разным количеством концентрических бислоев, но и включать в них самые разнообразные химические соединения и даже биологические макромолекулы, например ДНК.

Липосомы получают как из природных, так и из синтетических фосфолипидов, преимущественно различных производных фосфатидилхолина. Чаще всего используют природный яичный лецитин и синтетические димиристоильные, дипальмитоильные, дистеароильные производные фосфатидилхолина. Более того, в состав липосомальной мембраны могут быть введены и фосфолипиды (фосфатидилсерин, фосфатидилэтаноламин или фосфатидиновая кислота), содержащие в своей полярной части реакционноспособные группы, что делает возможным последующую химическую модификацию мембраны.

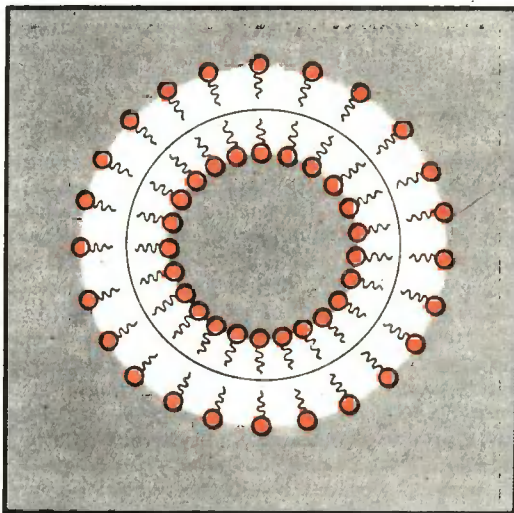
Как правило, в исходную липидную смесь вводят дополнительно некоторое количество холестерина (иногда до 40%), придающего мембранам дополнительную прочность.

Один из самых первых методов получения липосом — это воздействие ультразвука на систему фосфолипид — водная среда. Органический раствор фосфолипидов выпаривают до получения тонкой липидной пленки, которую затем заливают или просто водным буферным раствором или раствором, содержащим соединение, которое предполагают включить в липосомы. После длительного воздействия ультразвука образуется почти прозрачная, слегка опалесцирующая суспензия липосом. В этом случае липосомы очень различны по размерам, их внутренний объем недостаточен для включения крупных биологических макромолекул, а кроме того ультразвук может инактивировать некоторые биологически активные соединения. Поэтому разработаны и другие способы получения липосом. Так, при добавлении водной фазы в органический раствор липидов с последующим медленным выпариванием органического растворителя при пониженном давлении образуются крупные липосомы. Гомогенные по составу липосомы можно получить, добавляя по каплям эфирный раствор липидов в нагретую водную среду. Крупные, однородные и монослойные липосомы могут образовываться и в процессе диализа или гельхроматографии суспензии фосфолипидов, содержащей какой-либо поверхностно-активный агент.

Какими же физико-химическими свойствами обладают получаемые искусственные мембраны? Остановимся на тех основных свойствах, которые необходимы для дальнейшего изложения.

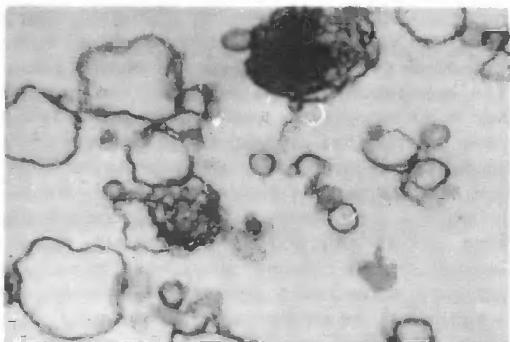
Важной характеристикой природных мембран является степень подвижности

составляющих их молекул фосфолипидов. Липосомальные мембраны также представляют собой динамические образования, т. е. молекулы фосфолипидов в них способны к латеральной диффузии (перемещению в пределах монослоя) и к изменению ориентации друг относительно друга. Подвижность компонентов мембраны в экспериментах с липосомами можно регулировать двумя способами: во-первых, введением, как уже отмечалось, холестерина или другого подобного агента; во-вторых, изменением температуры, поскольку для



Схематическое изображение липосом. Молекулы липидов расположены таким образом, что неполярные «хвосты» молекул обращены друг к другу, а полярные части (выделены цветом) — в водную фазу, образуя так называемую бислойную или монослойную мембрану. Толщина липидного бислоя составляет 35–40 Å, причем внутренний монослой (т. е. часть бислоя, обращенная полярными головками молекул внутрь липосомы) обладает более плотной упаковкой молекул — на каждую «голову» приходится около 60 Å, тогда как в наружном монослое — более 70 Å. Диаметр внутренней водной фазы в липосомах составляет порядка 100 Å, а расстояние между концентрическими слоями в мультиламеллярных липосомах — порядка 75 Å.

каждого фосфолипида существует определенная температура перехода гель — жидкий кристалл, выше и ниже которой жирнокислотные цепи молекулы фосфолипида упакованы по-разному и, соответственно, мембрана находится в «жидком» или «твердом» состоянии. Эти состояния различаются по многим характеристикам, в том числе и по подвижности молекул в целом или неполярных «хвостов» молекул.



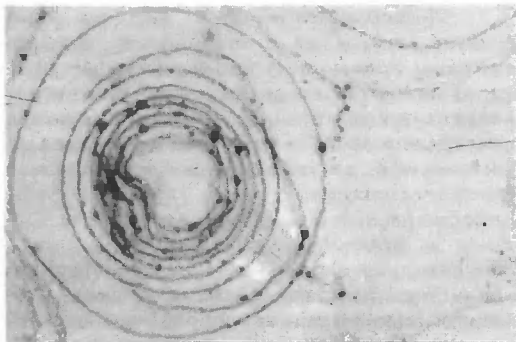
Липосомы под электронным микроскопом [увел. в 30 тыс. раз]. Слева — моноламеллярные липосомы (один бислой), справа — мультламеллярные липосомы (состоят из нескольких concentрических бислоев).

Степень подвижности молекул в липидном бислое определяют различными физико-химическими методами, например по скорости вращения свободно-радикальной метки, связанной неполярной частью молекулы. Скорость этого вращения можно оценить методом электронного парамагнитного резонанса, и чем она выше, тем выше подвижность компонентов мембраны.

Второе свойство мембран, которое прекрасно моделируют липосомы — это проницаемость для различных соединений. Если в природных биологических мембранах проницаемость мембраны может регулироваться присутствием большого числа встроенных в мембрану белковых молекул, то на липосомальной мембране можно изучать проницаемость самого липидного бислоя для различных соединений и при различных условиях. Оказалось, что проницаемость липосомальной мембраны зависит от ее фазового состояния и особенно велика вблизи температуры фазового перехода фосфолипидов липосомы, когда молекулы в мембране обладают максимальной неупорядоченностью. Обычная скорость выхода самых разных веществ из липосомы наружу при температурах, достаточно далеко отстоящих от температуры фазового перехода, составляет около 1% включенного соединения в час. Введение в мембрану холестерина не только повышает «жесткость» мембраны, но и уменьшает ее проницаемость.

КАКИЕ ПРОЦЕССЫ МОЖНО ИЗУЧАТЬ С ПОМОЩЬЮ ЛИПОСОМ

Таких процессов очень много, но чтобы не отступать от основной линии изложе-



ния, мы рассмотрим только те из них, которые существенны для использования липосом в медицине.

На примере липосомальных мембран была изучена диффузия кислорода в фосфолипидный бислой. Этот процесс важен именно с медицинской точки зрения, поскольку многие специалисты сейчас склонны полагать, что с окисления липидов клеточных мембран начинается развитие атеросклероза. Оказалось, что кислород с заметно большей скоростью проникает в мембраны, находящиеся в жидком состоянии (в гель-фазе), чем в твердые (жидкокристаллические) мембраны. Этот факт может быть использован для построения гипотетической модели развития атеросклероза. Предположим, что с возрастом мембраны клеток организма по тем или иным причинам обогащаются фосфолипидами, жирнокислотные «хвосты» которых при физиологической температуре находятся в жидком состоянии, что облегчает диффузию в них кислорода, ускоряя тем самым процесс окисления липидов.

Очень интересным с теоретической точки зрения и важным в биологическом отношении является процесс встраивания различных белков в модельные мембраны. Такие исследования сейчас ведутся. Показано, что наиболее активно белки встраиваются в мембраны липосом вблизи температуры перехода, т. е. когда фосфолипидные молекулы максимально неупорядочены. Кроме того, было установлено, что способность белков встраиваться в мембрану определяется наличием в них достаточного большого гидрофобного участка, который служит чем-то вроде якоря для белковой молекулы. Это навело нас на мысль, что даже белки, в обычном состоянии не взаимодействующие с мембранами из-за своей гидрофильности, могут быть встроены в липосомальные мембраны благодаря предварительной гидрофобизации. Такой подход можно использовать для конструи-

рования систем транспорта лекарств в организме, и мы сейчас над этим работаем.

С медицинской точки зрения, пожалуй, наиболее интересно изучить взаимодействие липосом с различными клетками, которое в известной степени моделирует межклеточное взаимодействие. Работы в этом направлении помогают нам понять механизм захвата клетками различных частиц и соединений, а также подсказать, каким способом модельные соединения (а значит и лекарства) могут быть введены внутрь клетки или даже внутрь липосом. Взаимодействие липосом с клетками изучают преимущественно на чистых клеточных культурах. Следить за этим сложным процессом можно с помощью липосомальных мембран, меченных радиоактивными маркерами, или включая во внутреннюю водную фазу липосомы радиоактивное или флуоресцентное соединение. Меченые липосомы инкубируют с различными клетками и затем смотрят перераспределение соответствующей метки между липосомами и клетками. Иногда в липосомы включают электронноплотные вещества, которые после захвата липосомы клеткой можно наблюдать в электронном микроскопе. Мы не будем останавливаться на многочисленных экспериментальных сложностях, возникающих при изучении взаимодействия клеток с липосомами, отметим лишь, что в принципе всегда могут протекать три процесса, которые друг от друга разграничить не просто (хотя и необходимо): адсорбция липосом на наружной поверхности клеточных мембран; слияние мембраны липосомы с мембраной клетки, приводящее к попаданию содержимого липосомы внутрь клетки; эндоцитоз — захват клеткой целой липосомы, которая затем взаимодействует с лизосомами.

Что же интересного выяснилось при изучении взаимодействия липосом с клетками? Оказалось, что мультисамеллярные липосомы захватываются клетками печени хуже, чем моносамеллярные (если судить по переходу мембранного маркера из липосом в клетку). При этом изменение заряда поверхности липосомы практически не сказывается на процессе захвата (заряд липосомы можно легко варьировать введением в состав ее мембраны различных заряженных фосфолипидов).

В ряде экспериментов удалось показать, что на поверхности некоторых клеток, например лимфоцитов, имеются особые места связывания, соединение с которыми и служит началом вхождения липосомы или ее содержимого в клетку.

При изучении взаимодействия липосом с лимфоцитами обнаружили и еще один интересный факт. Оказалось, что взаимодействие липосом с клетками — отнюдь не «игра в одни ворота». Не только клетки захватывают липосомы, но и липосомы могут оказывать на клетки заметное воздействие, которое зависит от состава липосомальных мембран. Так, например, оказалось, что липосомы, не содержащие холестерина, резко снижают способность лимфоцитов к активации и росту, но достаточно ввести в мембрану липосомы холестерин, как этот эффект пропадает. Это означает, что липосомы забирают холестерин из клеточных мембран, нарушая их свойства. При создании терапевтических липосом все эти опасности следует предусмотреть.

Разумеется, не все клетки одинаково чувствительны к липосомам. В экспериментах, проведенных в нашем институте с тромбоцитами, было показано, что в весьма широких пределах состав и заряд липосом не влияют на свойства тромбоцитов, например на их способность к агрегации¹.

Даже из краткого перечисления возможных экспериментов с липосомами видно, как много может дать их изучение. Но сейчас уже можно уверенно сказать, что ценность липосом не только в их пригодности для теоретических работ, но и в широком практическом использовании. Липосомы оказались идеальным носителем для транспорта лекарств: они полностью биосовместимы, не вызывают никаких нежелательных реакций организма на их введение и, кроме того, составляющие ее липиды могут быть утилизваны в качестве компонентов клеточных мембран. Липосома эффективно предохраняет включенное в нее вещество от контакта с агрессивной физиологической средой, не допуская преждевременной инактивации лекарства и обеспечивая его постепенный выход в окружающую среду. С другой стороны, включенное в липосому соединение не вызывает токсических, аллергических, пирогенных или антигенных реакций организма. Более того, в отличие от известных препаратов с помощью липосом можно доставить лекарственный препарат внутрь клетки.

¹ Бердичевский В. Р., Маркосян Р. А., Козин Е. Я., Смирнов В. Н., Суворов А. В., Торчилин В. П., Чазов Е. И. «Бюлл. экспер. биол. мед.», 1979, № 8, с. 141—143.

КАК ВЕДУТ СЕБЯ ЛИПОСОМЫ В ЖИВОМ ОРГАНИЗМЕ

При введении экспериментальным животным большая часть липосом довольно быстро поглощается клетками печени и селезенки (за 15—30 мин в них накапливается до 60% липосом). Некоторое количество липосом попадает в легкие, в почки и в другие органы и ткани.

В целом ряде опытов изучали влияние различных факторов на скорость выведения липосом из кровотока: изменя-

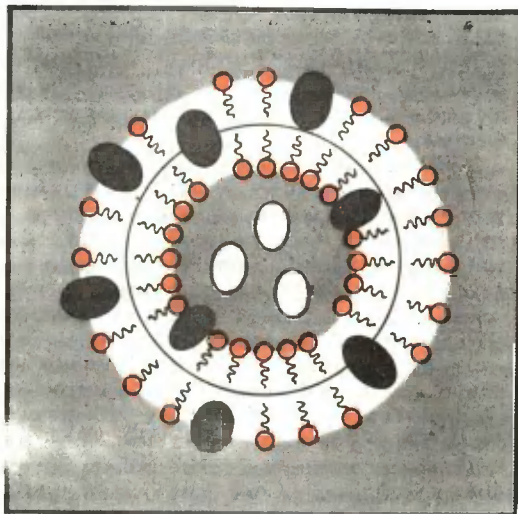


Схема включения различных веществ в липосому. В мембрану липосомы включаются жирорастворимые вещества (выделены черным цветом), а во внутреннюю водную фазу — водорастворимые вещества.

ли их заряд, размеры и липидный состав. Оказалось, что липосомы, заряженные положительно, выводятся из кровотока медленнее, чем липосомы нейтральные или отрицательно заряженные. По-видимому, это объясняется тем, что поверхность клетки, как правило, имеет слабый отрицательный заряд и положительные липосомы удерживаются клетками крови за счет электростатического взаимодействия. Маленькие липосомы живут дольше, чем большие (и это можно понять, зная что клетки, очищающие кровь, быстрее реагируют на посторонние частицы большого размера). Однако наблюдаемые эффекты увеличения времени циркуляции невелики. К тому же, во многих случаях экспериментальные данные, полученные несколько

лет назад, сомнительны, поскольку тогда еще не учитывали осложнений, вносимых в эксперимент обменом компонентов липосом и клеточных мембран или липопротеинов плазмы крови. Есть и еще одна сложность: даже полагая, что наблюдаемая метка связана с липосомой, трудно однозначно понять, за чем мы наблюдаем — за целой липосомой или за фрагментом мембраны разрушенной липосомы, если при прохождении через печень липосомы не только захватываются ее клетками, но и разрушаются (липосомы могут разрушаться и в крови, где имеется немало ферментов, гидролизующих липиды). Обнаружить целые, неповрежденные липосомы в наблюдаемых системах можно было бы с помощью электронного микроскопа, но этот метод пока не разработан. С другой стороны, можно ввести метку одного типа внутрь липосомы, а метку другого типа в мембрану липосомы и во всех образцах просчитать активность обеих меток. Если во всех случаях отношение активностей двух меток остается постоянным и равным таковому в исходных липосомах, тогда можно сказать, что мы наблюдаем за интактными липосомами.

Уже получены предварительные ответы на целый ряд важных вопросов. Один из них — вопрос о механизме захвата и разрушения липосом клетками печени. Поскольку изменение заряда или размера липосом не привело к увеличению времени их жизни, решили разобраться в механизме выведения липосом, чтобы изменить те их свойства, которые этому выведению способствуют. Для начала изучили роль фосфолипидразующих ферментов в этом процессе. Предположили, что под действием фосфолипаз и фосфоацилгидролаз липосомы разрушаются еще в кровотоке, а продукты их разрушения быстро захватываются печенью и в ней накапливаются. Д. Десмукс с сотрудниками попытались увеличить время циркуляции липосом, используя липосомы из аналогов обычных фосфолипидов, негидролизующих ферментами организма. Согласно их данным, замена фосфолипида на его аналог приводит к заметному увеличению времени циркуляции липосом в крови. К сожалению, выбранная авторами модель эксперимента была не вполне адекватна — они следили за поведением в крови радиоактивного маркера, включенного только внутрь липосомы. Мы попытались провести аналогичные эксперименты с использованием мембранного необмениваемого маркера и убедились, что время циркуляции

неповрежденных липосом почти не менялось, а увеличилось время нахождения захваченных липосом в печени и время выхода из печени фрагментов уже разрушенных липосом². Значит, фосфолипидразрушающие ферменты не участвуют ни в разрушении липосом в крови, ни в ускорении или замедлении их захвата печенью; они разрушают липосомы преимущественно уже внутри печени. Поэтому липосомы из негидролизуемых такими ферментами веществ могут намного дольше находиться только в печени.

Как же можно помочь другим органам? По-видимому, нужно искать иные подходы. Первый из них основан на предположении, что в захвате липосом клетками печени участвуют соответствующие рецепторы, расположенные на поверхности клеточной мембраны. В этом случае, если предварительно ввести в кровоток большое количество пустых липосом, то они довольно быстро насытят такие гипотетические центры связывания, а введенные вслед за ними липосомы с лекарством, будут находиться дольше в кровотоке, чем обычно, пока вновь не освободятся рецепторы захвата. Однако этот путь, к сожалению, связан с введением в организм слишком больших количества посторонних фосфолипидов. С другой стороны, в крови существует много крупных белков и надмолекулярных образований типа липопротеинов, которые печенью не захватываются и время жизни которых в кровотоке исчисляется часами или даже днями. Может быть, если покрыть поверхность липосом этими белками или образованиями, то такие «переодетые» липосомы благополучно ускользнут от клеток печени и смогут долго циркулировать в крови, постепенно выделяя заключенное в них лекарство? Сейчас мы работаем над проверкой этого предположения, и можно не сомневаться, что долгоживущие липосомы так или иначе будут получены.

ЧТО МОГУТ ПЕРЕНОСИТЬ ЛИПОСОМЫ

Пожалуй, самые многочисленные работы связаны с использованием липосом для включения веществ, обладающих противоопухолевой активностью. С одной стороны, это объясняется интенсивными поисками новых средств для лечения опу-

холей, с другой стороны, с помощью липосом можно вводить лекарства непосредственно внутрь раковых клеток, тем более что, как показано в целом ряде работ, опухолевые клетки обладают значительно большей способностью концентрировать в себе липосомы, чем здоровые клетки (за исключением клеток печени). Так, в липосомы включали фермент аспарагиназу, и полученный препарат не только обладал меньшими антигенными свойствами, чем нативная аспарагиназа, но и проявлял выраженную противоопухолевую актив-

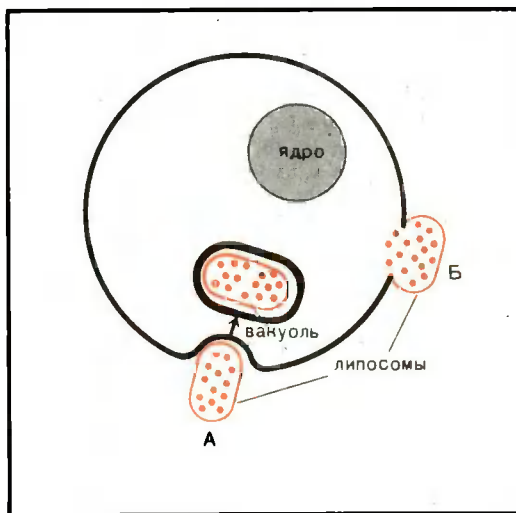


Схема взаимодействия липосомы с клеткой, содержащей лекарство: А — эндоцитоз, Б — слияние.

ность (в экспериментах на мышцах с привитой лимфомой). При этом отрицательно заряженные липосомы оказались более эффективными, чем положительно заряженные, что дополнительно указывает на особые свойства раковых клеток³. Для включения в липосомы применяли блеомицин и некоторые другие антибиотики, обладающие противоопухолевым действием. Во всех экспериментах на животных препарат сильнее накапливался в опухоли, чем в случае обычного введения лекарств.

Большое количество исследований посвящено и изучению действия включенного в липосомы инсулина. Такой интерес становится вполне понятным, если

² Торчилин В. П., Бердичевский В. П., Гольдмахер В. С., Смирнов В. Н., Чазов Е. И. «Бюлл. эксп. биол. мед.», 1979, № 8, с. 160—161.

³ Waerunjun E. D., Gregoriadis G. «Biochem. Soc. Trans.», 1979, v. 4, p. 133—134.

учесть широкую распространенность диабета и дефицитность единственного реального лекарства от этой болезни — инсулина. Продление работы инсулина в организме сократит его терапевтическую дозу, а значит экономит гормон. В целом ряде работ на экспериментальных животных показано, что включенный в липосомы инсулин обладает более продолжительным временем действия, чем свободный инсулин. Разумеется, «работает» инсулин в свободном виде, но липосома замедляет процесс инактивации и выведения инсулина, т. е. делает препарат более эффективным.

Все возможные виды лекарственных соединений, которые к настоящему времени включали в липосомы, перечислять бессмысленно, их слишком много. Так, например, описан пациент с болезнью Гоше, которая связана с накоплением в организме гликофинголипидов из-за недостаточной активности разрушающего их фермента глюкоцереброзид-β-глюкозидазы. Введенный в липосоме недостающий фермент попал внутрь клеток, где и проявил необходимую больному активность⁴.

Для лечения инфаркта миокарда может оказаться перспективным описанное недавно концентрирование положительных или нейтральных липосом в области экспериментального инфаркта миокарда. Это означает, что с помощью липосом можно транспортировать лекарства непосредственно в зону поражения.

А есть ли какие-либо возможности направленного транспорта лекарства, включенного в липосомы, в такие органы или ткани, которые никаким специфическим средством к самим липосомам не обладают?

ПЕРСПЕКТИВЫ НАПРАВЛЕННОГО ТРАНСПОРТА ЛЕКАРСТВ С ПОМОЩЬЮ ЛИПОСОМ

Направленный транспорт связан с созданием конъюгатов молекул лекарственных соединений с какими-либо молекулами, обладающими специфическим средством к какому-либо характеристическому компоненту органа-мишени. В качестве такого «лоцмана» чаще всего рассматривают антитела против специфических веществ, входящих в состав соответствующего

органа. Однако до появления липосом эта идея не шла дальше умозрительных построений. Причина этого заключается в том, что для осуществления транспорта антитело должно быть связано с лекарством. Если лекарство представляет собой низкомолекулярное вещество, то нужны сложные химические конструкции, включающие синтетическую полимерную цепь, к которой в качестве боковых цепей на легко гидролизуемых связях могут быть «привешены» молекулы лекарства, а в качестве «головки» такого препарата должно быть присоединено антитело. Трудности создания таких агрегатов очевидны. Если же лекарство представляет собой высокомолекулярное соединение, например фермент, то вряд ли к одному антителу можно присоединить более одной молекулы белка без нарушения свойств антитела, что потребует значительного расхода антител. К тому же введение большого количества антител (при больших дозах лекарств) наверняка вызовет опасные иммунологические реакции в организме.

Липосома позволяет решить оба вопроса: во-первых, внутрь липосомы несложно ввести достаточно большое число молекул даже высокомолекулярного лекарства, во-вторых, для направленного транспорта к наружной стороне липосомы достаточно присоединить всего несколько или даже может быть одно антитело — к.п.д. резко возрастает, а синтетические трудности элиминируются.

Описано несколько попыток стимулировать включение липосом в клетки за счет их покрытия какими-либо специфическими макромолекулами (работы, в основном, выполнены на культурах тканей). Например, гликолипидсодержащие липосомы могут специфически связываться с антителами и клетками, а ганглиозид-содержащие липосомы — с клетками печени. Иммуноглобулины также увеличивают захват липосом клетками. Однако до сих пор достижения в этом направлении минимальны. В чем же дело?

Такое положение вещей можно объяснить двумя причинами. Во-первых, обычно применяемые способы присоединения специфических молекул к поверхности липосом или дают непрочное связывание (например, при адсорбции) или же сильно изменяют связывающие свойства присоединенных молекул (например, при встраивании) из-за их внедрения в мембрану. Недавно мы предложили новый способ связывания белков с поверхностью липосом, который позволяет присоединить к ли-

⁴ Belchetz P. E., Braidman I. P., Crawley J. C. W., Gregoriadis G. «The Lancet», 1977, July 16, p. 116—117.

посоме достаточные количества белка, практически не меняя его специфических свойств⁵. В мембрану липосом вводят реакционноспособные липиды, затем поверхность полученных липосом обрабатывают длинными бифункциональными (т.е. с двумя реакционноспособными группами на противоположных концах молекулы) реагентами, в результате чего над поверхностью липосом появляются связанные с ней через «ножку» реакционноспособные группы, к которым теперь и присоединяют макромолекулы, например, антител. Про-

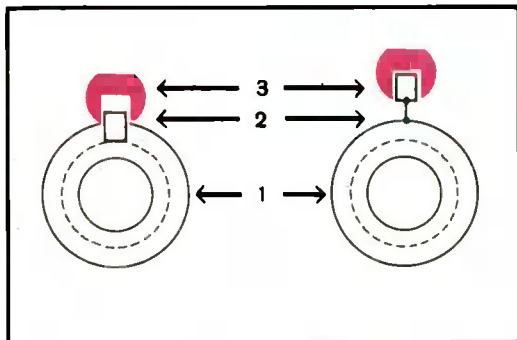


Схема связывания липосом [1] с белком: с ферментом или с антителом [2]; с другим белком [3]. Слева — специфическое связывание затруднено, поскольку другой белок встроен в липосому. Справа — белок, связанный с липосомой через «ножку», сохраняет связывающую способность.

цесс напоминает иммобилизацию ферментов на гетерогенных носителях с реакционноспособными группами, отстоящими от поверхности носителя на расстоянии, достаточном для обеспечения относительной «свободы» связанного белка. Проверенный на модельных системах способ показал высокую эффективность и впервые был применен для ковалентного связывания специфических антител.

Во-вторых, малые эффекты в направленном транспорте могут объясняться и тем, что практически во всех описанных экспериментах исследователи использовали неспецифические иммуноглобулины. Система специфическое антитело — липосома должна дать больший эффект. И такая система была нами недавно изучена в содружестве с группой американских ис-

следователей во главе с Э. Хабером, которые применили антитела, специфические против сердечного белка миозина для обнаружения зоны некроза при инфаркте миокарда. Этот прием основан на том, что в некротической зоне проницаемость клеточных мембран резко возрастает и из клеток выходят в кровоток даже высокомолекулярные соединения, а плохо растворимый миозин с молекулярным весом ~ 500 тыс. долго остается на месте погибших клеток. В то же время только после разрушения клеточных мембран у антитела, предварительно помеченного каким-либо радиоактивным изотопом, появляется возможность «добраться» до своего антигена и образовать с ним прочный комплекс. Если нет некроза, а следовательно и разрушенных мембран, такое меченое антитело просто циркулирует в кровотоке и радиоактивность во всех местах организма пропорциональна кровотоку. При некрозе же радиоактивность резко концентрируется в определенном месте, что и позволяет регистрировать очаг поражения.

Мы предложили использовать такие антитела не только для определения зоны некроза при инфаркте миокарда, но и для доставки в эту зону липосом с необходимыми лекарствами. Эксперимент показал, что антитела, связанные с липосомами по нашему методу, полностью сохраняют свою активность в реакции взаимодействия со специфическим антигеном — миозином из сердца, а значит, могут быть использованы для транспорта терапевтических липосом в зону поражения⁶. В этом случае в липосомы можно включать протеолитические ферменты, ускоряющие переваривание «мертвых белков», и таким образом сократить время рубцевания некротической зоны.

Таким образом накопленный к настоящему времени экспериментальный и теоретический материал позволяет считать, что липосомы не только прекрасная модель для изучения ряда свойств биологических мембран, но и важный объект, позволяющий реализовать совершенно новые подходы к переносу и направленному транспорту лекарственных соединений в организм.

⁵ Torchilin V. P., Goldmacher V. S., Smirnov V. N. «Biochem. Biophys. Res. Commun.», 1978, v. 85, p. 983—990.

⁶ Торчилин В. П., Бан Ан Ко, Бердичевский В. Р., Локе Э., Смирнов В. Н., Эабер Э., Чазов Е. И. «Доклады АН СССР», 1979, т. 246, № 3, с. 746—749.



«Красную Книгу» — уникальным объектам неживой природы

Н. Н. Ходжибаев, Б. А. Бедер



Нариман Нарзуллаевич Ходжибаев (1926—1979), доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный геолог Узбекской ССР. В последние годы жизни был Генеральным директором объединения «Узбекгидрогеология» Министерства геологии УзССР. Основные научные интересы были связаны с вопросами мелиоративной гидрогеологии, охраной природы. Автор многих научных работ, в том числе монографий: Гидрогеолого-мелиоративное районирование (на примере Средней Азии). Ташкент, 1975; Гидрогеолого-мелиоративные прогнозы и их обоснование. Ташкент, 1976.



Борис Александрович Бедер, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник института гидрогеологии и инженерной геологии (ГИДРОИНГЕО) объединения «Узбекгидрогеология» Министерства геологии УзССР. Занимается изучением артезианских минеральных и термальных вод Средней Азии, историей изучения и охраной подземных вод. Заслуженный геолог Узбекской ССР.

Советское государство с первых лет своего существования охрану природы и природных ресурсов включило в число первоочередных задач. В. И. Лениным был подписан ряд декретов, относящихся к охране природных ресурсов. Идеи ленинского отношения к природе нашли отражение в программе КПСС, в решениях XXIV и XXV съездов партии, а также в законах об охране природы, принятых во всех союзных республиках. С ростом материального благосостояния нашей страны растет стремление сохранить окружающую среду. С каждым годом все больше делается для охраны природы и природных ресурсов. Так, только в Узбекистане за 1976 и 1977 гг. на охрану окружающей природной среды израсходовано бо-

лее 130 млн руб. К 1980 г. объем нормативно очищенных вод в УзССР увеличится по сравнению с 1975 г. на 67%, объем оборотного водоснабжения на промышленных предприятиях — на 33%, а количество улавливаемых вредных веществ в атмосфере — почти в полтора раза. В 1976—1977 гг. введены в эксплуатацию 143 очистных сооружений общей мощностью свыше 1 млн м³ воды в сутки. В 1978 г. велось строительство еще 286 водоохраных объектов¹.

В числе проблем, связанных с сохранением и улучшением природы и природных ресурсов, в последние годы стала ак-

¹ «Известия», 1978, № 257.

туальной проблема сохранения редких видов животных и растений, находящихся под угрозой исчезновения. Созданы так называемые «Красные Книги» — международная и в каждом государстве или союзной республике в отдельности, куда заносятся исчезающие объекты фауны и флоры. «Красные Книги» стали важным фактором для принятия срочных и действенных мер к сохранению, восстановлению и воспроизводству многих видов. Правительство Узбекской ССР также приняло решение об учреждении в республике «Красной Книги» в целях сохранения находящихся под угрозой исчезновения видов животных и растений.

Наряду с этими действенными мерами вызывает тревогу тот факт, что до сих пор не поднимался вопрос о создании аналогичных «Красных Книг» и для уникальных объектов неживой природы, с охраной и восстановлением которых дело обстоит не совсем благополучно.

К таким объектам можно отнести отдельные наиболее ценные пещеры, озера, источники, скважины, водопады, опорные геологические разрезы горных пород, участки массовых скоплений эталонных видов ископаемой фауны и флоры прошлых геологических эпох и т. п.

Отдельные виды животного и растительного мира, находящиеся под угрозой исчезновения, при активной помощи и содействии человека путем соответствующих организационных природоохранных мероприятий могут в течение нескольких лет или десятилетий быть восстановлены и даже количественно значительно увеличены. Наглядным примером тому может служить восстановление в СССР находившихся близко к исчезновению стад одного из видов антилоп — сайгаков. Совершенно по-иному обстоит дело с уникальными объектами из мира неживой природы. Если эти объекты подвергнутся даже частичному разрушению, для их воссоздания даже самой природой потребуются не годы и десятилетия, а многие сотни лет или тысячелетия.

Уместно привести соответствующее высказывание вице-президента АН СССР академика А. В. Сидоренко: «Органы пропаганды, радио, телевидение, печать уделяют большое внимание охране животного и растительного мира. Но мы очень мало говорим об охране земной коры и ее рациональном использовании. Животный и растительный мир при желании может быть восстановлен, а в земной коре могут быть

созданы необратимые процессы в результате нерационального ее использования»².

На территории Средней Азии располагаются самые различные ландшафтные зоны: высокогорья с вечными ледниками и снежниками, низкогорья и предгорья, межгорные котловины, речные долины и оазисы, горные и равнинные плато, полупустыни и пустынные пространства. У каждой из ландшафтных зон свои природные черты и особенности, свои многочисленные ценные памятники природы, например такие, как пещеры. По данным узбекского карстоведа М. М. Маматкулова, на территории среднеазиатских республик насчитывается более 1500 пещер различных размеров, форм, морфологических особенностей в разнообразных горных породах: известняках, гипсах, солях. Суммарная длина выявленных пещер Средней Азии близка к 65 тыс. м. Среди пещер немало выдающихся по красоте, научной и практической значимости. Эти объекты нуждаются в охране и в некоторых случаях в специальных мероприятиях по благоустройству и хотя бы частичному восстановлению.

К ним относится одна из самых глубоких в Азии (1082 м) Киевская пещера в Зеравшанском хребте, самая протяженная среди гипсовых пещер (длина 980 м) двухэтажная пещера Каптархана в юго-западных отрогах Гиссарского хребта и расположенная недалеко от Каптарханы одна из самых крупных пещер (длина 860 м) Средней Азии Амир-Темир-Кураган с уникальными сталактитами, сталагмитами и колоннами. Своеобразны и другие пещеры меньших размеров.

Такова пещера Ходжаипак в долине р. Халкаджар — притока р. Сурхандарьи. Ее длина 220 м. На дне пещеры находится крупный родник с сероводородной водой, дебит которого 1700 м³ в сутки. В трещинах пород, слагающих стенки пещеры, обнаружены черные резиноподобные остатки углеводородов («сухая нефть»), а в породах окрестностей пещеры найдены кристаллы самородной серы и прозрачного гипса.

Пещера Кочкарли в Зерабулакских горах (Самаркандская область) отлична обилием и разнообразием натечных образований на стенах ее нескольких неболь-

² Сидоренко А. В. Основные проблемы взаимодействия человека и земной коры. — В кн.: Рациональное использование земной коры. М., 1974.



Оз. Корбешбулак в Узбекистане.

Фото М. А. Штейна.

ших залов — известковистых «драпировок», «занавесей», каскадов, натечной «бахромы», кальцитовых корок, сталактитов и сталагмитов.

Заслуживает внимания и благоустройство других пещер: пещеры Бахарденской в предгорьях Копетдага, на дне которой расположено озеро с теплой (33°) водой, Карлюкских пещер на западном склоне хребта Кугитанг, пещеры Кийиккамар на южном склоне Зеравшанского хребта, группы пещер (Аманкутан, Хазратидауд, Еттикиз) в районе Самарканда), многочисленных пещер в Чаткальском и Угамском хребтах, пещер в окрестностях Чарвакского водохранилища — будущей крупной зоны отдыха ташкентцев. После освоения этой зоны окрестные пещеры станут излюбленными местами экскурсий отдыхающих.

Исторический, научный интерес и ценность многих среднеазиатских пещер возрастают, благодаря находкам на стенах некоторых из них петроглифов, нацарапанных или вырезанных доисторическим человеком. Изображения людей, диких животных, сцены охоты нередки среди таких «зарисовок» древних художников. Кроме того, многие пещеры, являвшиеся жилищем доисторических людей, должны стать объектами специальных раскопок, которые могут дать материалы для археологов, этнографов, историков. Прекрасным примером является пещера Тешикташ в Сурхандарьинской области, в которой при раскопках был найден окаменелый

череп неандертальского мальчика. Благодаря этой находке, пещера Тешикташ приобрела всемирную известность.

Пещеры с их природными украшениями — натечными образованиями, подземными озерами, реками и источниками пользуются повышенным вниманием со стороны многочисленных туристов. Однако, к сожалению, среди туристов попадаются настоящие браконьеры, безжалостно выламывающие «на память» натечные образования пещер.

Так, в Самаркандской области, на юго-восточном склоне Зирабулак-Зиятдинских гор известна пещера Гунджа. Пещера состоит из ряда залов и соединяющих их ходов. В прошлом пещера была богата сталактитами, сталагмитами, сплошными вертикальными колоннами. Большая часть из них к настоящему времени разрушена в результате хищнической добычи мраморного оникса. В Большом зале пещеры еще сохранились сталактиты и сталагмиты, страдающие, однако, от рук браконьеров. В залах пещеры Аманкутан, расположенной на северном склоне Зеравшанского хребта, к югу от Самарканда, также почти не осталось сталактитов и сталагмитов. Они почти полностью выломаны. Подобных примеров разрушения уникальных объектов неживой природы, к сожалению, немало.

Достойным занесения в «Красную Книгу» и бережного отношения красивейшие горные озера Средней Азии: Сарезское и Каракуль — на Памире, Сарычелек на южном склоне Чаткальского хребта, Кугала — в осевой части Кураминского хребта, Искандеркуль и Шинк — в верховьях р. Зеравшан, Голубое — около кишлака и курорта Шахимардан, Сонкуль и Чатыр-



Долина р. Чаткал (юго-западный Тянь-Шань).

Фото М. А. Штейна.

куль — в Северной Киргизии, Кербешбулак — в Узбекистане и многие другие и, конечно, «голубая жемчужина» в горном обрамлении — Иссыккуль.

Однако приходится с сожалением констатировать, что сегодня берега многих озер, и в том числе Искандеркуля и Шинка, включенных в число объектов всесоюзных туристских маршрутов, захлещены множеством старых консервных банок, разбитых бутылок, обезображены порубками растительности.

Приведем некоторые сведения об озерах, подвергшихся в результате вмешательства человека существенному изменению или даже уничтожению. В северо-западной части Ферганской котловины расположено соляное оз. Аксыкон, славящееся своими лечебными грязями. Прежняя площадь озера свыше 8 км². В настоящее время озеро близко к полному уничтожению. С близ расположенных гор эпизодически стекают мощные селевые потоки с большим количеством рыхлообломочного материала, который делает грязь непригодной для лечебных целей. Лечебная грязь сохранилась только на восточной окраине озера, на площади менее 1 км² и запасы ее, по нашим подсчетам³, сократились по сравнению с первоначальными в 8—10 раз и составляют око-

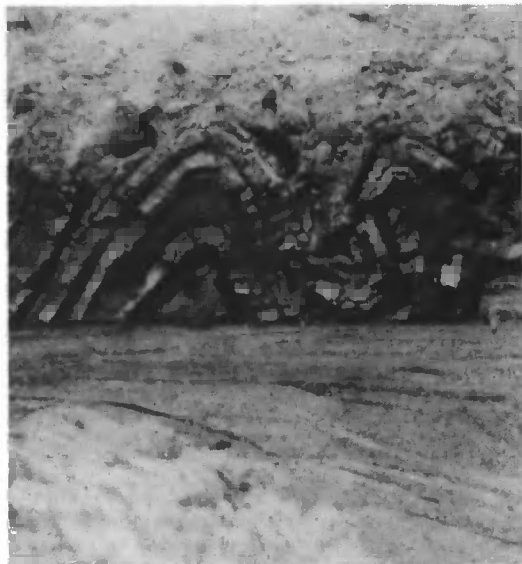
ло 30 тыс. м³. Но и эти скромные запасы лечебной грязи при существующей нерациональной ее эксплуатации и отсутствии элементарных природоохранных мероприятий находятся под угрозой гибели.

На южной окраине пустыни Кызылкум еще совсем недавно существовало крупное соляное оз. Тузкан, питавшееся минерализованными водами р. Клы. В течение нескольких тысячелетий в бассейне озера накопились около 100 млн т самосадочной поваренной соли хорошего качества. На дне озера найдены залежи лечебной грязи. В последние годы озерная впадина Тузкан и прилегающее к нему понижение стали местом спуска сбросных поливных вод, и озеро Тузкан, как соляное и грязелечебное, практически перестало существовать. Аналогична судьба и Дальварзинского грязелечебного озера, находившегося на правом берегу Сырдарьи, на юге Дальварзинской степи.

В жаркой пустынной местности западной Туркмении уже много лет существует известный в Средней Азии грязелечебный курорт Моллакара. Лечебные грязи Моллакара заслуженно пользовались популярностью среди больных. Однако последующая многолетняя нерациональная эксплуатация запасов лечебной грязи привела к значительному их истощению, а отсутствие защитных мер от движущихся барханных песков существенно снизило качество оставшихся ресурсов лечебной грязи.

На плато Устюрт в обширной Сарыкамышской впадине была известна большая группа соляных озер с лечебными грязями. Запасы поваренной соли, накопленные в течение многих тысячелетий, превышали 500 млн т. После отвода в последние годы

³ Бедер Б. А., Чуржина Н. М. Минеральные воды Таджикистана, их использование и охрана. Душанбе, 1976.



Ядро антиклинальной складки палеогеновых пород на правом склоне Педау-Сая, недалеко от выходов сероводородных источников Педау (Ферганская котловина).

Фото Б. А. Бедера.

амударьинских паводковых и сбросных поливных вод в Сарыкамышскую впадину вся группа Сарыкамышских соляных озер и рассольный источник Гурлюк-Булак, дебит которого превышал 70 тыс. м³ в сутки, затоплены и тем самым уничтожены.

Говоря об изменениях, происшедших с озерами, нельзя не сказать хотя бы кратко о существенных изменениях в судьбе Аральского моря и прилегающего к нему района за последние десятилетия. По данным В. Л. Шульца⁴ с 1961 по 1971 гг. уровень Аральского моря упал на 210 см, (а к 1978 г. почти на 300 см), что привело к уменьшению его площади с 67 250 км² до 60 360 км² и объема с 1085 до 952 км³. Такое падение уровня моря обусловлено уменьшением притока поверхностных вод Сырдарьи и Амударьи. Если в среднем за 1936—1960 гг. он составлял 52,4 км³/год, то за 1961—1970 гг. уменьшился до 41,8 км³/год, что вызвано увеличением водопотребления в бассейнах Амударьи

и Сырдарьи. Сокращение площади Аральского моря сказалось на рыбном хозяйстве: сократились площади нерестилищ, а следовательно и масштабы естественного воспроизводства рыбы, резко упали ее уловы. Из-за усыхания дельты сильно сократились площади зарослей камыша, являющиеся отгонными пастбищами для десятков тысяч голов крупного рогатого скота. Возникла необходимость переноса и перестройки портов и причалов в связи с отходом уреза воды Аральского моря. Ухудшились условия водозабора в магистральные водопроводы, обслуживающие компрессорные станции газопроводов Бухара — Урал, Средняя Азия — Центр и железную дорогу Кунград — Макат. Кроме того, по мнению И. С. Рабочева, с уменьшением размеров Аральского моря может существенно измениться климат Приаральского региона, что отрицательно скажется на его хлопководстве. А ведь Приаралье (Хорезм, Каракалпакия, Ташаузская область) дает около 1 млн т хлопка!

В горах и предгорьях Средней Азии десятки живописных водопадов, также нуждающиеся в особой охране. Назовем лишь некоторые из них. На границе Киргизии и Узбекистана, в хорошо озелененной и обводненной местности Арсланбоб известны два водопада, низвергающие мощные потоки воды. Имеются красивые водопады и в Чаткальском хребте (например, Черный водопад в урочище Чимган), Алай-Туркестанском, Зеравшанском и Гиссарском хребтах.

В различных ландшафтных зонах Средней Азии насчитываются тысячи самых разнообразных естественных источников. Особо интересны среди них — крупный источник Сайроб в Шерабадском районе УзССР, сероводородные источники Арчман, Коу, Фирюза и Бахарден — в Ашхабадской области Туркмении, Педау — в Ферганской области Узбекистана и Обишифо — в северном Таджикистане, гидротермальные зоны горячих источников вдоль северного склона Киргизского Алатау, рассольный источник Ходжаипак в Дехканабадском районе УзССР.

Можно также привести немало убедительных примеров незначительного отношения к подземным водам, в том числе к водам минеральным и термальным. Назовем несколько примеров. На Памире существовал минеральный источник Сист с обильно насыщенной углекислотой водой. На базе углекислой воды этого источника был организован промышленный бутылочный разлив этой воды, получившей

⁴ Шульц В. Л. Водный баланс Аральского моря. — Труды Ср.-Аз. региональн. научно-иссл. гидрометеорол. института. 1975, вып. 23 (104).



Грязевой вулкан Кипящий бугор (юго-западная Туркмения).

Фото Б. А. Бедера.

название «Бадахшан», обеспечивавшей население г. Хорога. При расширении автомобильной дороги, проходящей в непосредственной близости от источника, в результате взрывных работ образовались трещины в породах, по которым минеральная вода ушла в глубокие недра, и источник навсегда прекратил свое существование.

Минеральные воды из источника Шаамбары (в южных предгорьях Гиссарского хребта) давно используются в бальнеологии. Однако расширяться существующей водолечебнице некуда — она зажата в узком тесном ущелье. Для дальнейшего роста курорта его необходимо перенести в соседнюю широкую оазисную долину р. Ханака, где республиканским управлением геологии пробурено 3 глубоких скважины и выведена из недр фонтанирующая горячая минеральная вода, подобная шаамбардинской, с суммарным дебитом 600 м³ в сутки, что может обеспечить ежедневно более 2500 лечебных ванн. Но строительство такого курорта в долине Ханака в ближайшие годы почему-то не планируется, а пока ценная минеральная вода из трех скважин непрерывно с 1969 г. — бесцель-

но изливается на поверхность земли. По нашим подсчетам, за эти годы потеряно свыше 1,5 млн км³ минеральной воды⁶.

В долине р. Кафирниган, ниже кишлака Рамит таджикские гидрогеологи вскрыли фонтанирующую горячую лечебную воду с большим дебитом. Вода частично используется водолечебницей Явроз, но одна скважина непрерывно фонтанировала с 1962 г. бесцельно. За это время потеряно более 1,4 млн м³ лечебной воды⁶.

Все, кому приходилось бывать в пустыне Кызылкум на ее богатых естественных пастбищах, где круглогодично выпасаются многие миллионы каракульских овец, могли убедиться, что подземная вода — здесь самое ценное полезное ископаемое, определяющее возможность жизни и развития любой отрасли хозяйства, в том числе животноводства. И именно здесь, в Кызылкумах, где усилиями республиканских гидрогеологов выявлено около 15 локальных артезианских бассейнов, немало артезианских скважин, пробуренных специально для нужд каракулеводства, в течение многих лет без пользы самоизливаются теплой или горячей водой, нередко с большими расходами — от 300—500 до 1000 м³ в сутки. Среди водисточников Кызылкумов имеются такие своеобразные гидрогеологические феномены пустыни, как, например, скважина в поселке Артезианском на территории Карагатинского артезианского бассейна, которая фонтанирует непрерывно уже много лет с дебитом 8600 м³ солоноватой воды в сутки. Подсчитано, что все самоизливающиеся скважины лишь одного из артезианских бассейнов в Кызылкумах — Карагатинского — дают 33,7 млн м³ воды в год, при существующей потребности 10,2 млн м³. Таким образом бесполезно расходуется 23,5 млн м³ воды в год⁷.

Много Ташкентской минеральной воды (до 20 тыс. м³ в сутки) теряется в Южноказахстанских чучах — степях, лежащих к западу от Ташкента. На этой территории (Чимкентская область) пробурено свыше 70 глубоких скважин, непрерывно фонтанирующих минеральной водой, используемой в основном для водопоя. Из-за такой избыточной бесхозяйственной эк-

⁶ Бедер Б. А., Чуржина Н. М. Минеральные воды Таджикистана, их использование и охрана. Душанбе, 1976.

⁷ Там же.

⁸ Мирзеев С. Ш. Запасы подземных вод Узбекистана. Ташкент, 1974.



Горное озеро на р. Коксу (западный Тянь-Шань).
Фото М. А. Штейна.



Одна из Карлюкских пещер в хребте Кургитанг (Туркмения).

Фото М. А. Штейна.



Каньон Чер-Танги (Туркестанский хребет).

Фото М. А. Штейна.

сплуатации из года в год падают напоры и дебиты воды во всех глубоких скважинах Приташкентского артезианского бассейна, что указывает на истощение ресурсов минеральной воды⁸.

⁸ Бедер Б. А. За действенную охрану и рациональное использование подземных вод Узбекистана. — Первая сессия Научного совета АН УзССР «Региональные проблемы рационального использования и охраны биосферы». Тезисы докладов. Ташкент, 1976.

Известны факты нерациональных потерь фонтанирующих артезианских вод вдоль северо-восточного подножья хребта Копетдаг, в Ферганской котловине, в Зеравшанской долине, вдоль подножья северного склона хребта Киргизского Алатау, вдоль юго-западного склона хребта Каратау (северная окраина Кызылкумов) и в других районах.

Немало выдающихся объектов, достойных внесения в «Красную Книгу» среди кяризов — подземных водосборных гале-

рей, достигающих в длину нескольких сотен метров или даже нескольких километров. Много кяризов в Туркмении у подножья хребта Копетдаг; имеются они и в Узбекистане — в Нуратинском районе Самаркандской области. Кяризы — ценные памятники природы, истории культуры и техники народов Средней Азии, отразившие борьбу за подземную воду.

Много интересных, нередко уникальных памятников природы имеется и среди «чисто» геологических объектов. Например «тропа динозавров» — участок с отпечатками хорошо сохранившихся лап древних ныне ископаемых ящеров юрского периода (140 млн лет назад) обнаружена в Яккобагских горах (западные отроги Гиссарского хребта). В тех же горах найдены два участка с большим числом (около 70) видов эталонных хорошо сохранившихся отпечатков ископаемых растений юрского периода.

Среднеазиатскими геологами выявлены и обоснованы как опорные для Средней Азии и даже для Евразийского континента геологические разрезы пород отдельных периодов геологической истории Земли. На одном из участков (Ходжакурган в Зеравшанском хребте) создается первый в СССР государственный палеонтолого-стратиграфический заповедник. Прекрасно сохранившееся скопление отпечатков ископаемых рыб и насекомых юрского периода известно в предгорьях хребта Каратау, недалеке от оз. Бийлюкуль, близ сел. Галкино. Образцы отсюда могут украсить коллекции самых представительных палеонтологических музеев мира. Но часть территории этого ценного объекта перекопана, и многие сотни, а возможно и тысячи, отпечатков рыб и насекомых погублены.

Мы рассказали о редких объектах неживой природы, нуждающихся в особо бережном отношении на примере среднеазиатских республик, поскольку наша многолетняя работа связана именно с этим регионом. К этим объектам можно было бы добавить уникальные древние и современные шахты, рудники, рудные поля с редкими минералами, грязевые вулканы и т. п. Конечно и в других республиках нашей страны (равно как и за рубежом) могли бы быть составлены списки уникальных объектов неживой природы, которые также заслуживают срочного внесения в соответствующую «Красную Книгу» и неотложных мер по их охране.

Охрана объектов неживой природы и создание «Красной Книги» для уникаль-

ных, наиболее ценных из них — проблема международная, общечеловеческая, и одновременно относящаяся к каждой стране в отдельности. В разработке этой проблемы в Советском Союзе будет весьма эффективным активное участие соответствующих институтов Академии наук СССР, академий наук союзных республик, Государственного Комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, союзных министерств геологии, меллиорации и водного хозяйства, их республиканских производственных подразделений и научно-исследовательских институтов, Государственных республиканских комитетов по охране природы и природных ресурсов, республиканских обществ охраны природы.

Возможно, будет своевременным и вопрос о созыве международного совещания представителей различных стран, на котором следовало бы договориться об основных принципах охраны неживой природы и создания соответствующей международной «Красной Книги» и «Красной Книги» отдельных стран для наиболее ценных и уникальных объектов неживой природы, нуждающихся в срочной защите от угрозы резкого их ухудшения, порчи или даже гибели, определить порядок внесения таких объектов в «Красные Книги».

Попутно может возникнуть вопрос и о создании заповедников и заказников для уникальных комплексных объектов с охраной внутри таких заповедников и заказников одновременно ценных опорных геологических разрезов горных пород, мест массового скопления окаменелых ископаемых видов фауны и флоры, особо интересных минеральных или термальных источников, скважин или водопадов, пещер, наземных и подземных озер, грязевых вулканов, отдельных древних шахт, рудников и т. д.



Даурский еж

Н. Н. Щербак,
доктор биологических наук
Институт зоологии АН УССР

Даурский еж (*Erinaceus dauricus*) отличается от обыкновенного одним признаком: отсутствием на голове «пробора» — полоски голой кожи, лишенной волос и игл. Тем не менее у систематиков относительно его таксономического положения нет единства взглядов. Суть разногласий сводится к тому, что одни объединяют даурского ежа в один род с европейским, другие — относят его к азиатскому роду *Hemiechinus*. Сведения по экологии даурского ежа весьма неполны и отрывочны. Так, в двухтомнике «Млекопитающие фауны СССР» сказано, что распространение даурского ежа ...«недостаточно изучено»..., «данные по образу жизни этого вида весьма скудны»¹.

Несколько полевых сезонов (1971—1973 и 1977 г.) мы работали на территории Бурятии. В 1971 г. наш «Газ-60» много ночей кружил по степным дорогам в поисках этого зверька. В свете фар то блеснул зеленым огоньком глаза лисицы, то замечается тушканчик, то буквально из-под колес выпорхнет жаворонок. Но тогда нам не повезло. Лишь однажды в окрестностях Кяхты, там где шоссе выходит из соснового леса на остепненные склоны холмов, мы нашли остаток зверька, погибшего под колесами автомашины. В следующем году поиски таинственного ежа продолжались в другом месте Забайкалья, в степях Даурии, Читинской области. К нашей работе подключились и сотрудники эпидемиологического отряда. И однажды настал долгожданный день. Мне передали коробку с колючим шариком.



Даурский еж.

Фото Н. Н. Щербака.

Наш пленник не отличался особой церемонностью и охотно поедал предложенных ему полевков, жуков, тушки птиц. Следующая встреча с даурским ежом состоялась в июне 1977 г. На высоком открытом правом берегу р. Чикой мы обнаружили несколько жилых нор сурков-тарбаганов. В поставленные здесь капканы... попали два даурских ежа.

Чтобы выяснить причины почти полного исчезновения этого зверька, мы детально исследовали места его обитания. В этом неоценимую помощь нам оказали местные жители-буряты, чабаны и охотники. Суммируя наши наблюдения и сведения из литературы, мы пришли к заключению, что даурские ежи, подобно другим видам наших ежей, размножаются один раз в год, в июне — июле, и имеют 5—7 детенышей. Но в отличие от наших ежей, они селятся в заброшенных норах тарбаганов, располагая гнездо на глубине до одного метра. Чабаны рассказывали, что зары (так по бурятски называется еж) раньше встречались и днем — у входа в нору, где они часто отдыхают. Засветло эти ежи выходят и на охоту. Местный зоолог Б. П. Пешков сообщил нам, что

в Борзинском районе численность ежей особенно резко сократилась после 1964 г.

Стапи Забайкалья, северной Монголии и Манчжурии с давних пор были очагом такого грозного заболевания, как чума. Большой вклад в изучение и разработку способов ликвидации опасных причин болезни сделал Д. К. Заболотный. Он установил, что резервуаром возбудителя чумы были монгольские сурки-тарбаганы. С тех пор грызуны поставлены человеком вне закона, их начали уничтожать. Даурские ежи, так же как сурки, живут в норах, зимой залегают в спячку. Однако, в отличие от сурков, они землекопы слабые. Поэтому даурские ежи использовали для своих зимних квартир норы сурков. А зимы в Забайкалье, как известно, суровые, и, чтобы не замерзнуть, животным надо прятаться глубоко под землю. Человек постепенно уничтожил опасных тарбаганов, их подземные лабиринты размывали дожди. Даурские ежи остались без защиты, после каждой зимы их оставалось все меньше...

Даурский еж как редкий вид должен быть внесен в «Красную Книгу СССР». Случай с даурским ежом еще раз показывал нам, как в природе все взаимосвязано и как вмешательство человека приводит иногда к совершенно непредвиденным последствиям.

¹ Млекопитающие фауны СССР, ч. I. М., 1963, с. 62.

Сероводород в подземных водах

А. В. Щербаков



Александр Владимирович Щербаков, доктор геолого-минералогических наук, заведует лабораторией гидрогеохимии и энергетики осадочного процесса Геологического института АН СССР. Основные научные труды посвящены геохимии подземной гидросферы. Главный редактор и автор Газогидрогеохимической карты территории СССР, М., 1974. Автор многих монографий, и в том числе: Геохимия термальных вод. М., 1968; Распределение газов в термальных водах. М., 1972; Газы термальных вод. М., 1974.

Изучение региональных и генетических закономерностей распределения и концентрации сероводорода в подземных водах — одна из важных проблем современной геохимии. Достаточно сказать, что сероводородные воды, с одной стороны, способствуют формированию месторождений рудных полезных ископаемых, с другой — широко используются в бальнеологии. Целебные свойства этих вод позволяют применять их на ряде курортов СССР, особое место среди которых принадлежит Черноморскому и Каспийскому побережьям Кавказа, Предкарпаты и Урало-Волжской нефтеносной провинции, где запасы сероводородных минеральных вод, по существу, уникальны.

Сероводород — химически активный газ и может присутствовать в водных растворах как слабая кислота (H_2S), диссоциирующая в зависимости от значения pH среды на гидросульфид- и сульфид-ионы соответственно: $\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HS}^-$; $\text{HS}^- \rightleftharpoons \text{S}^{2-} + \text{H}^+$.

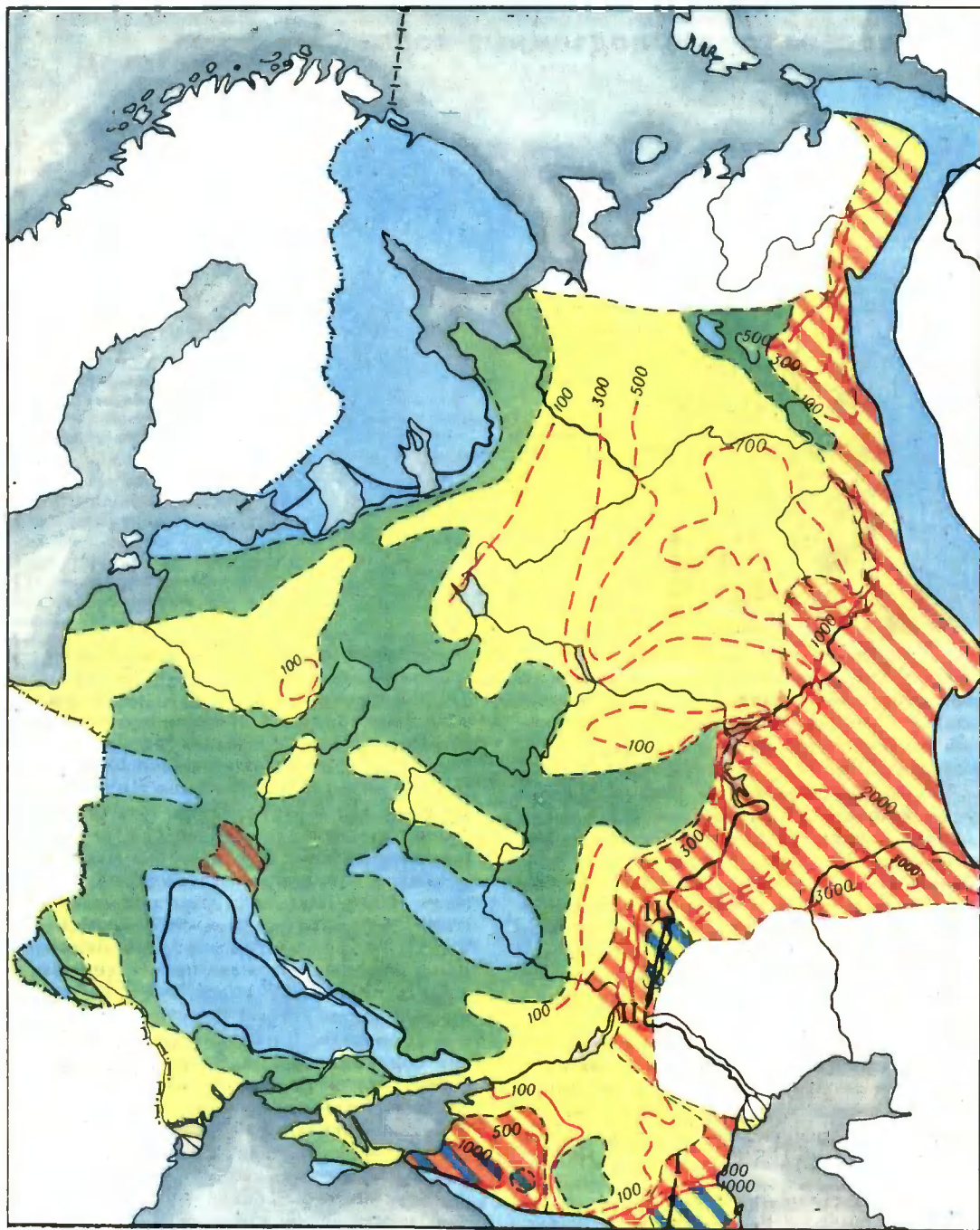
Распространение в подземных водах гидросульфидов (HS^-) почти не изучено. Чаще в воде определяется содержание лишь общего сероводорода, т. е. сумма свободного (газообразного) и молекулярного — растворенного сероводорода, а также продуктов диссоциации сероводородной кислоты. Общее содержание серо-

водорода в подземных водах колеблется в большинстве случаев от 1—2 до 50 мг/л.

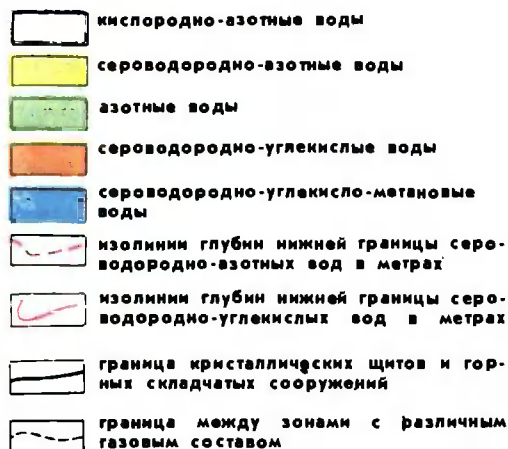
Высокие концентрации наблюдаются в буровых скважинах и источниках в районе курортов: Хоста — Мацеста (до 600 мг/л) и Талги (до 750 мг/л) на Кавказе, Каралар (до 700 мг/л) на Керченском п-ове, Шихова Коса (до 345 мг/л) на Апшеронском п-ове, Усть-Качка (до 540 мг/л) в Приуралье и др. В отдельных нефтегазовых месторождениях концентрации сероводорода достигают 1000—2000 мг/л (Краснокамск, Туймазы, Бугуруслан, Ишимбай, Андижан и др.). Решающим фактором, определяющим возможность накопления сероводорода в подземных водах, служит вещественный состав горных пород.

Наиболее благоприятны для накопления сероводорода карбонатные породы — известняки и доломиты. В кластических глинистых породах, обогащенных соединениями железа, сероводорода накапливается меньше, так как сероводород в значительной мере расходуется на образование сернистого железа — пирита. Песчаники и пески лишь в редких случаях бывают коллекторами сероводородных вод.

За последние 10—15 лет получено много новой информации о распространении подземных сероводородных вод на территории нашей страны. Воды были вскрыты буровыми скважинами глубиной



Карта распространения подземных вод на Европейской части СССР. В заштрихованных районах цвет широкой полосы соответствует газовому составу вод верхней части разреза; цвет узкой полосы — газовому составу вод нижней части разреза. I—I, II—II — места разрезов, представленных на последующих рисунках.



3,5—5 тыс. м и более главным образом при изысканиях на нефть и газ. Результаты опробования этих скважин позволили обнаружить новые источники сероводородных вод, в результате чего их эксплуатационные запасы возросли. Так, в ряде мест на Кавказе и в Предкавказье скважины вскрыли теплые и горячие воды из более глубоких, чем было ранее известно, горизонтов. Полученные данные дают основание говорить о вертикальной и горизонтальной зональности сероводородных вод различной генерации как закономерном явлении, а также о связи между составом пород, термическим и геохимическим режимом и сопутствующими им подземными водами с различным ионно-солевым и газовым составами.

В предлагаемой читателю статье мы остановимся на особенностях формирования и распределения сероводородных вод и их роли в рудообразовании.

ОСНОВНЫЕ ГРУППЫ ПОДЗЕМНЫХ СЕРОВОДОРОДНЫХ ВОД

Среди подземных сероводородных вод можно выделить две основные группы, резко отличающиеся друг от друга по условиям формирования.

К первой группе относят сероводородные воды, формирование которых свя-

зано с процессами биохимического продуцирования сероводорода в зоне гипергенеза, т. е. в зоне действия внешних экзогенных процессов. Эти воды разделяют на две подгруппы: сероводородно-азотные воды и сероводородно-углекислые.

Сероводород, присутствующий в сероводородно-азотных водах, образуется в результате взаимодействия вод, содержащих сульфаты с органическим веществом четвертичных отложений торфяников, гумусовым веществом почв и др. или с битумами и рассеянным в коренных породах органическим веществом. Сульфатный состав воды приобретают за счет растворения гипсо-ангидритовых пород или окисления пирита, содержащегося в толщах.

Общее количество органического вещества в зонах формирования сероводородно-азотных вод невелико (20—40 мг/л), а отсюда — небольшие концентрации в них сероводорода (обычно 1—50 мг/л, иногда больше) при содержаниях азота 12—100 мг/л.

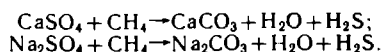
По ионному составу сероводородно-азотные воды преимущественно сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые и сульфатно-хлоридные натриевые с минерализацией от 0,5 до 13 г/л. Геохимическую среду сероводородно-азотных вод определяют следующие параметры: энергетический потенциал от —10 до —200 мВ, кислотность от 6,5 до 8,5. Температура 5—20°. Общая газонасыщенность изменяется от 30 до 200 мг/л. Низкая минерализация и температура сероводородно-азотных вод свидетельствует об относительно неглубокой их циркуляции по трещинам и порам коренных пород.

Образование сероводорода и углекислоты в сероводородно-углекислых водах происходит в результате редукции сульфатов углеводородами при участии бактерий в анаэробной среде по следующей реакции: $C_6H_{12}O_6 + 3NaSO_4 \rightarrow 3CO_2 + 3NaCO_3 + 3H_2 + 3H_2O + \text{кал.}$

Среди сероводородно-углекислых вод по ионному составу преобладают гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные натриевые, хлоридные натриевые и хлоридные натриево-кальциевые с минерализацией от 10 до 250 г/л и температурой до 75—90°C. Геохимическая среда их определяется следующими параметрами: энергетический потенциал от —10 до —350 мВ, кислотность от 5,5 до 7,5.

Вторая группа сероводородных вод прослеживается в зоне катагенеза, т. е. в зоне, где процессы в земной коре протекают в условиях высоких температур и

высокого давления. В нее включают сероводородно-углекисло-метановые перегретые воды. Формирование этих вод связано с наличием сульфатных пород (гипсов, ангидритов), углеводородов и идет при высоких температурах. Сероводород образуется за счет восстановления сульфатов метаном при температурах 100—200° и выше:



Опыты по восстановлению сульфатов проводились американским ученым Дж. Сакаи, который показал, что при температурах порядка 500°C в присутствии метана сульфаты полностью восстанавливаются. Вероятно, отсутствие сульфатов в глубинных водах во многих случаях может объясняться чисто химическими процессами восстановления их углеводородами: метаном, битуминозным веществом и др. без участия бактерий.

Ионный состав перегретых сероводородно-углекисло-метановых вод — хлоридный натриево-кальциевый, минерализация от 50 до 200 г/л. Геохимическая среда имеет следующие показатели: энергетический потенциал от —15 до 365 мВ, кислотность от 5,3 до 6,5.

Таким образом, генезис сероводорода меняется в зависимости от глубин и температур. С глубиной и повышением температуры затухает интенсивность биогенной редукции сульфатов и возрастает доля сероводорода, образующегося в процессе термического преобразования.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЕРОВОДОРОДНЫХ ВОД

Сероводородные воды на территории СССР распространены достаточно широко в определенных геологических структурах — чаще всего в подвижных зонах межгорных и предгорных впадин, в краевых прогибах и в погруженных частях плит и платформ, состоящих из осадочных и вулканогенно-осадочных пород. Именно в таких структурах сосредоточены ископаемые сульфатные породы, нефть, газы и органические вещества, способствующие обогащению подземных вод сероводородом. В то же время на больших площадях, занятых кристаллическими щитами, массивами, антеклизмами и т. п., сероводородные воды отсутствуют.

Анализ газогидрогеохимической карты, впервые составленной нашей лабораторией гидрогеохимии и энергетики осадочного процесса, позволяет выявить основные

черты пространственного распределения сероводородных вод на территории Европейской части нашей страны.

Сероводородно-азотные воды наиболее широко распространены на северо-востоке, востоке и юго-востоке этой территории в гипсо-ангидритных отложениях девона, перми, юры и неогена довольно близко к поверхности. Нижней границей распространения этих вод на востоке Русской плиты служат толщи переслаивающихся водоупорных пачек гипсов, ангидритов, реже глин нижнепермского возраста.

Наиболее глубоко (до 700 м) сероводородно-азотные воды расположены в верховьях рек Камы и Вятки, к западу и югу глубина распространения таких вод постепенно уменьшается до 100 м в районе Рыбинского водохранилища и реки Суры.

Особое место среди районов распространения этих вод занимает главное девонское поле на северо-западе Европейской части СССР. Сероводородно-азотные воды здесь встречаются в гипсоносных известняках. Глубина нижней границы этих вод колеблется от 15 до 100 м.

Сероводородно-углекислые воды обнаружены главным образом к востоку от зоны распространения сероводородно-азотных вод в карбонатных отложениях девона, карбона, юры, мела и палеогена, характерных для платформенных прогибов — депрессий (Печорская, Глазовская, Тунгусская и др.), краевых прогибов (Предкавказский, Предуральский, Предкопетдagsкий и др.) и межгорных впадин (Рионская, Ферганская и др.).

В Поволжье и Прикамье сероводородно-углекислые воды распространены под гипсами, ангидритами, реже глинами нижнепермского возраста на глубинах от 100 м на севере и юге до 1000—3000 м в Заволжье.

Сероводородно-углекислые воды распространены также вдоль склона Большого Кавказа. Здесь они располагаются главным образом в нижнемеловых и верхнеюрских загипсованных и соленосных карбонатных отложениях. Их состав варьирует от пресных на глубине от 2004 — до 2035 м до рассолов с минерализацией 123 г/л на глубине 1412—1472 м.

Сероводородно-углекисло-метановые перегретые воды характерны для погруженных на глубину от 4000 до 5500 м сульфатнокарбонатных пород нижнего мела и верхней юры. Сверху эти породы «накрыты» водоупорными эвапоритами, что обуславливает естественную герметизацию вод. Сероводородно-углекисло-ме-

тановые перегретые воды обнаружены при бурении сверхглубоких скважин в Восточном Предкавказье на глубинах 1550, 3650 и 4232 м и в Колхидской депрессии на глубине 3200 м. Температура этих вод — 135—179°C, концентрация сероводорода — 194—850 мг/л.

Сопоставляя с картой гидрогеохимические разрезы, легко можно проследить зональное распространение сероводородных вод как по вертикали, так и в горизонтальном направлении. Устанавливаются три зоны сероводородных вод: сероводородно-азотные, сероводородно-углекислые и сероводородно-углекисло-метановые.

В пределах Русской платформы и Предкавказского краевого прогиба ярко выражен переход типов сероводородных вод в зависимости от состава пород и термических условий, которые особенно полно прослеживаются в области мощного развития осадочных образований. Высокие концентрации сероводорода при этом создаются не у поверхности, а на глубине крупных нефтегазоносных депрессий, содержащих сульфатные породы (гипсы, ангидриты).

СЕРОВОДОРОДНЫЕ ВОДЫ И РУДООБРАЗОВАНИЕ

Геохимические процессы рудообразования, протекающие в земной коре, самым тесным образом связаны с деятельностью газовых и водных растворов, изменяющих вещественный состав пород во времени и пространстве. Еще М. В. Ломоносов, сопоставляя рудные жилы и сероводородные источники, находил в них многие черты генетического родства. Это «родство» многократно подтверждается в наше время, благодаря новой информации, свидетельствующей об огромном значении природного сероводорода в аккумуляции рудного вещества из рассеянного состояния.

Широкое распространение сероводорода в подземной гидросфере, обладающего в различных геохимических зонах земной коры значительной потенциальной энергией, заставляет считать его наиболее сильным восстановителем. Сероводород действует на большинство металлов (особенно интенсивно при повышенной температуре), образуя соответствующие сульфиды или сернистые металлы. При встрече кислородных и глеевых вод, обогащенных теми или иными рудными элементами, с сероводородными водами формируется, по классификации советского геохимика А. И. Перельмана, сероводород-

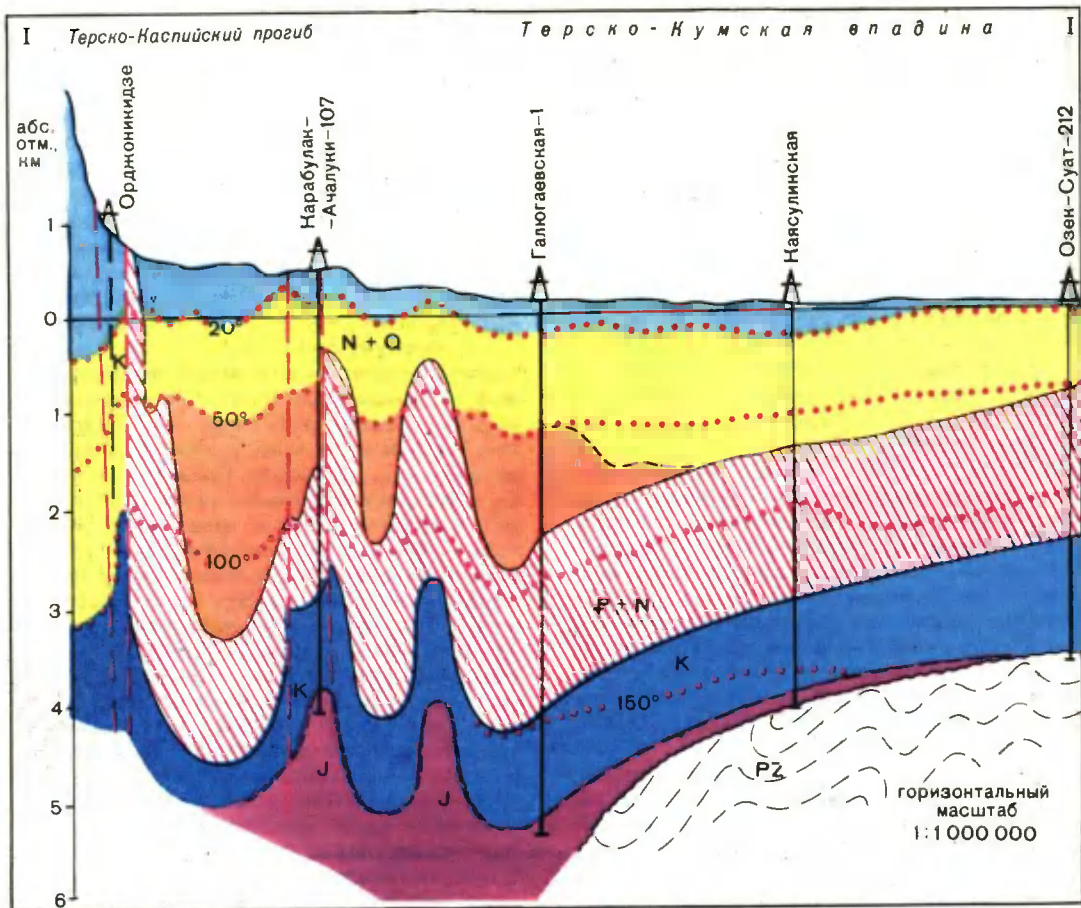
ный восстановительный барьер, для которого особенно характерны аккумуляции металлов, образующих нерастворимые сульфиды железа, мышьяка, цинка, свинца и др. Резко восстановительные сероводородные процессы, переводящие уран в четырехвалентную форму, ванадий — в шестивалентную, медь — в одновалентную, а серебро и золото — даже в самородное состояние, содействуют концентрации в горных породах всех рудообразующих химических элементов с переменной валентностью.

Особую роль в рудообразовании играют процессы взаимодействия глубинных сероводородных вод с кислородными водами. Контакт этих различных гидрогеохимических сред приводит к образованию рудных концентраций. Примером могут служить месторождения и крупные скопления самородной серы, формирование которых происходит только в том случае, если нефтегазоносные горизонты, продуцирующие сероводород, располагаются ниже сульфатнокарбонатных комплексов. При подъеме глубинные сероводородные воды нефтегазоносных областей встречают грунтовые, содержащие кислород. На месте их контакта концентрируется элементарная сера — продукт окисления сероводорода.

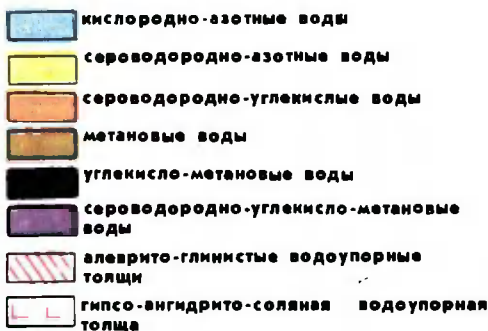
Одним из типичных районов образования скоплений самородной серы является Предкарпатье, где оно происходило на большой площади, вдоль путей непрерывного поступления сероводородных растворов. Поэтому здесь и наблюдается вытянутость отдельных месторождений серы (Немировское, Язовское, Раздольное и др.) вдоль Калушского регионального разлома. Эпохи тектонических подвижек, способствующих миграции сероводородных растворов в верхние горизонты осадочной толщи, являются с эпохами промышленного серообразования.

В последние 15—20 лет благодаря открытию крупных месторождений в нашей стране и за рубежом (США, Канада, Франция и др. странах) природных газов, содержащих сероводород и связанных с подземными водами, возникла проблема добычи из них серы. Сероводород, считавшийся ранее нежелательным примесью углеводородных газов, стал ценным компонентом для промышленного извлечения. В настоящее время добыча и переработка газов, содержащих сероводород, во многих странах является самостоятельной отраслью промышленности.

Запасы одного из таких крупнейших



Гидрогеохимический разрез в пределах Восточного Предкавказья. На рисунке видно как формирование различных вод связано с изменением глубины и температурой. Нагретые сероводородно-углекисло-метановые воды характерны для погруженных на глубину от 4000 до 5000 м сульфатно-карбонатных пород нижнего мела и верхней юры. Водоупорные толщи обеспечивают естественную герметизацию этих вод.

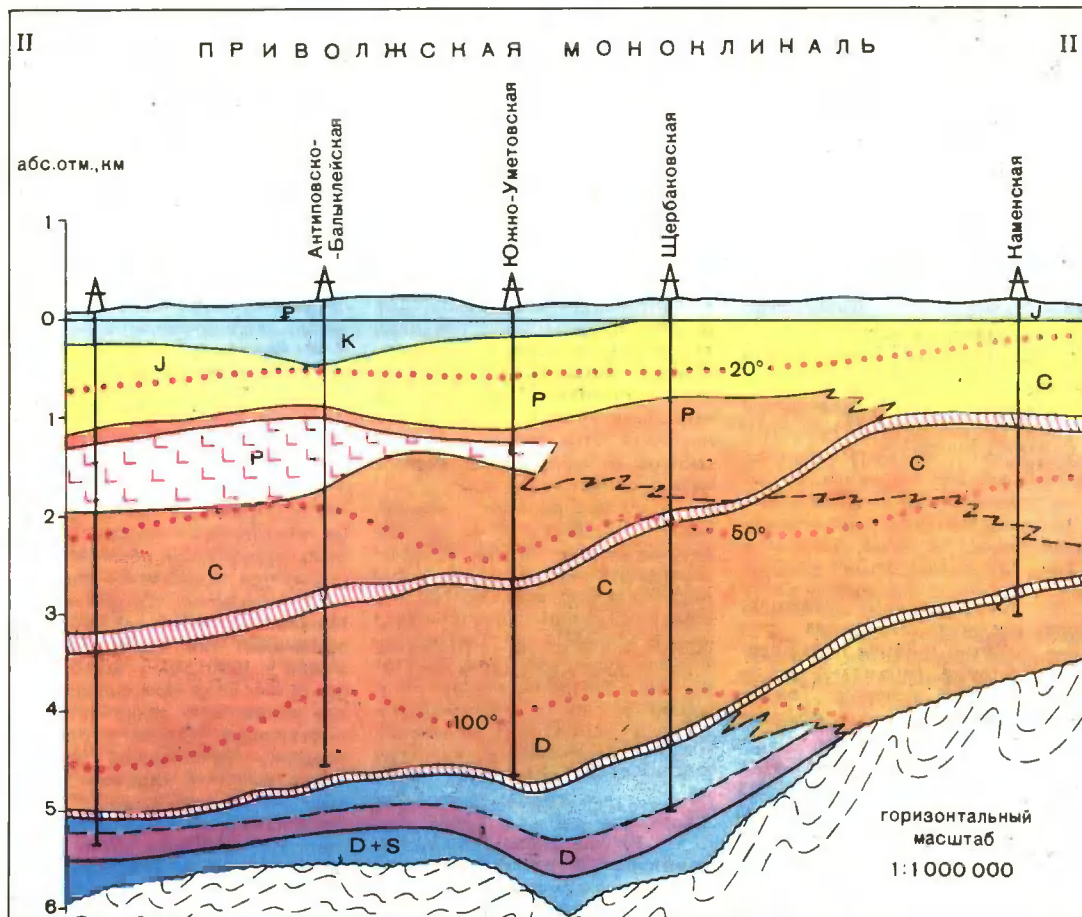


метаморфизованные породы складчатого палеозойского и кристаллические породы докембрийского фундамента

изотермы, °C

линии тектонических разломов

газовых месторождений Европы — месторождения Лак, расположенного на юго-западе Франции, оцениваются в 300—400 млрд м³. Породы, в которых находится газовая залежь, — доломиты и известняки юрского возраста. Верхняя граница газовой залежи находится на глубине 3500—4100 м, а толщина залежи около 1000 м. Пластовое давление газа — 670 атм, температура — 150°C. Дебит газа через фонтанную трубку диаметром 9 см достигает 600 тыс. м³/сут. В газе (по объему) содержится около 69% метана, 8,6—9,6% углекислоты, 15,2—17% сероводорода, 0,4—0,6% азота.



Гидрогеохимический разрез в пределах Нижнего Поволжья. Для приведенного на рисунке района характерно менее глубокое расположение сероводородно-азотных вод и более глубокое сероводородно-углекисло-метановых вод.

Только за счет необычно большого количества сероводорода, содержащегося в газе этого месторождения, можно удовлетворить потребности Франции в сере.

В Советском Союзе также успешно решается вопрос рационального использования природных газов с высокой концентрацией сероводорода. Крупные залежи этих газов открыты в Средней Азии и Оренбургской области.



В заключение следует подчеркнуть, что изучение распределения и пространственного изменения сероводородных вод на территории Европейской части СССР показало, что геологические запасы их

весьма велики. При заложении новых скважин, которые должны вскрыть сероводородные воды и газы промышленного и бальнеологического значения, особое внимание нужно уделять поискам оптимальных геологических структур. К таким структурам можно отнести региональные разломы, горсты и приподнятые блоки, являющиеся очагами максимального подтока газа, вод и рассолов из глубоких зон земной коры.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Зорькин Л. М. ГЕОХИМИЯ ГАЗОВ ПЛАСТОВЫХ ВОД НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ. М., 1973.

Перельман А. И. ГЕОХИМИЯ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. М., 1968.

Щербанов А. В., Козлова Н. Д., Смирнова Г. И. ГАЗЫ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД. М., 1974.



Ботаника

Лоза-великан

А. Д. Матнашвили,
кандидат сельскохозяйственных наук

Грузинский научно-исследовательский институт садоводства, виноградарства и виноделия
Тбилиси

Среди редких экземпляров растительного мира Грузии особый интерес представляют старые гигантские кусты винограда. В условиях Грузии они развиваются и обильно плодоносят до высоты 800—1000 м над ур. м. Среди таких кустов особенного внимания своими хозяйственными показателями заслуживает 40-летний великан — экземпляр сорта

«Горула» в селении Шертули Горьковского района. «Горула» — высокоурожайный столовый сорт, средний вес грозди которого превышает 250 г, а некоторые особо развитые грозди достигают 500 г. Среди биологических особенностей сорта особый интерес представляет его морозоустойчивость. При высокоштабмовой формировке на кусте отлично сохраняются грозди до наступления первых заморозков.

Лоза развита мощно, высота штабма 3 м, а его окружность — 70 см. Своими многолетними ветвями она покрывает площадь в 160 м². Еще в 20-летнем возрасте куст давал 400—500 кг винограда; в настоящее же время этот показатель удвоился и в 1978 г. достиг 960 кг — от одной лозы почти одна тонна винограда. При низкоштабмовой культуре в среднем получается 70—80 ц/га винограда, т. е. 0,7—0,8 кг на 1 м².

Уникальность данного экземпляра — в мощности его кустов, плодоношении побегов (первичных и вторичных — пасынков) и качестве урожая.

Гроздь винограда сорта Горула.



Океанология

Фотомониторинг океанического дна

К. Н. Несис,
кандидат биологических наук
Москва

Дно удаленных от берегов центральных частей океана на абиссальных (более 2500—3000 м) глубинах обычно представляется царством покоя и неподвижности. Скорость накопления донных осадков не превышает там одного миллиметра в 1000 лет, и можно думать, что след проползшего по дну животного сохраняется на протяжении многих столетий¹. Теории, объясняющие чрезвычайно высокое видовое разнообразие донной фауны абиссали, основываются на представлении, что эволюция этой фауны происходила в условиях длительной стабильности, малых, постепенных и предсказуемых изменений². Правда, в последнее время появились и противоположные взгляды, что процессы на океаническом дне могут идти довольно быстрыми темпами³. Однако прямых доказательств справедливости таких взглядов до сих пор не было.

Фотоэксперимент, недавно проведенный группой американских исследователей из геологической обсерватории Ла-

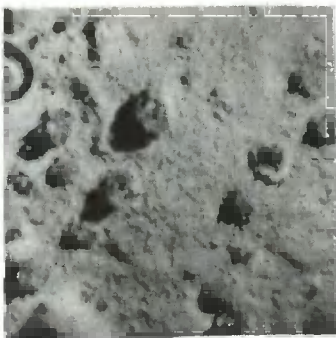
¹ Зенкевич Л. А. «Океанология», 1961, т. 1, № 3, с. 382.

² Sanders H. L. «Brookhaven Symp. Biol.», 1969, v. 22, p. 71. Idem. «Spec. Publ. Acad. Natur. Sci. Philadelphia», 1977, № 12, p. 223.

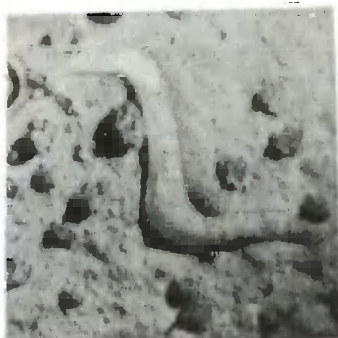
³ Dayton P. K., Hessler R. R. «Deep-Sea Res.», 1972, v. 19, № 3, p. 199.

монта-Дозрты Колумбийского университета⁴, заставляет во многом изменить представления о скорости биологических процессов на абиссальном дне. В эксперименте участок океанического дна фотографировался автоматической камерой непрерывно в течение 202 дней. Для этой цели был сконструирован специальный прибор — донный монитор Джерарда и Торндайка. На дне устанавливаются треногу, на которой закреплена фотокамера для замедленной съемки, фотонепелометр длительного действия для определения прозрачности воды, измеритель течений и температуры. Вся аппаратура управляется дистанционно по акустическим сигналам и работает в заданном режиме. Камера располагается на высоте 160 см от дна, площадь пространства каждого кадра — 1 м². Монитор был установлен 6. IX.1976 г. на глубине 4873 м в олиготрофной области восточно-экваториальной части Тихого океана: 11°03,5' с. ш., 139°58,9' з. д. на дне, покрытом железомарганцевыми конкрециями, и снят 25.III.1977 г. Снимки дна делались каждые 4 часа, прозрачность измерялась через 2 часа, температура, скорость и направление течений — через 40 мин. Скорость течения не превышала 0,09 м/с. Всего получено и проанализировано 1212 снимков.

За 202 дня в поле зрения камеры проползло или прошагало 35 животных. На снимках видны 8 голотурий, 2 краба, 1 креветка, 5 прочих ракообразных, 1 морской еж, 1 кишечнорастворивающее и ряд неидентифицированных животных. Средняя плотность населения дна — 2,9 экз. на 100 м², что в точности совпадает с результатами фоточета донной фауны на обширном пространстве северной экваториальной части Тихого океана (общая площадь сфотографированного дна 8,1 га) — 3 экз. на 100 м², среди них 35% — голотурии, 19% — кишечнорастворивающие, 16% — морские ежи, 13% — офиуры, 2% — ракообразные, 15% — прочие.



Голотурия движется через поле зрения объектива.



Пустой слизистый чехол на 4-й день после того, как кишечнорастворивающее сбросило его.

На 34-й день съемок в кадре появилось медленно ползущее (10 см/час) животное длиной 54 см, червеобразной формы. Это было либо кишечнорастворивающее, либо лофозантеропнеуста — представитель еще ни разу не попадавшей в руки исследователей гипотетической группы полухордовых, недавно описанной датскими зоологами исключительно по результатам анализа глубоководных донных фотографий⁵. Проползая через фотографируемую площадку, животное сбросило покрывающую его тело слизистую оболочку. Слизистый чехол кишечнорастворивающих служит для защиты нежных покровов тела от повреждений при ползании по грунту и для сбора налипливших на слизь пищевых частиц, которые потом

заглатываются вместе с чехлом. Вероятно, чехол зацепился за одну из 25 видимых в кадре железомарганцевых конкреций, и животное освободилось от него. Затем оно продолжало свой путь и исчезло из кадра. Слизистый чехол сначала был хорошо виден, но уже через 6 дней он стал еле заметен, а через 12 дней от него не осталось и следа. По-видимому, слизь была целиком съедена бактериями и микроскопическими донными животными.

На 65-й день в кадре появилась голотурия, по-видимому, из рода *Peniagone*, оставившая кучку экскрементов. Фекалии голотурий часто отмечают на подводных фотографиях; считается, что они остаются неизменными в течение десятков, а может быть и тысяч лет. К концу опыта, через 137 дней, кучка оставалась еще видна, но отчетливо «похудела».

На 87-й день через поле зрения фотокамеры прополз крупный десятиногий рак, похожий на *Munidopsis*, оставив за собой хорошо видимый след. Через 115 суток след оказался частично, а местами полностью размытым. Очевидно, какие-то микроскопические бентосные животные подкопали склоны ямок, оставленных рачьими коготками.

На 176-й день на фотографиях появились 4 цилиндрические образования, весьма похожие на те, которые на подводных фотографиях обычно опознают как фекалии голотурий. Однако на следующих кадрах эти «фекалии», к изумлению исследователей, переместились и изменили форму. Это явно были животные, но какие — непонятно.

Первая длительная серия фотографий абиссального дна показала, что процессы потребления и биологического разложения органики и перемещения грунта организмами происходят куда быстрее, чем предполагалось. Их скорость измеряется не десятилетиями и столетиями, а приблизительно месяцами. Разумеется, на прибрежных мелководьях эти процессы протекают несравненно быстрее, чем в абиссали, но и абиссальное дно вовсе не похоже на дворец спящей царевны.

⁴ Paul A. Z. et al. «Naturer», 1978, v. 272, № 5636, p. 812.

⁵ Lemche H. et al. «Vid. Medd. Dansk Naturhist. Foren.», 1976, v. 139, p. 262.



Такими шуточными изображениями кварков иллюстрировал свой обзорный доклад на XVIII Международной конференции по физике высоких энергий (Тбилиси, 1976) Альваро де Рухула, испанский физик-теоретик, работающий в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН, Швейцария).

Кварки

В. М. Шехтер



Владимир Михайлович Шехтер, доктор физико-математических наук, заведующий сектором теоретической физики высоких энергий Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР. Автор работ по свойствам симметрии взаимодействий элементарных частиц и применению кварковой модели к процессам множественного рождения и столкновения адронов с ядрами. Автор монографии: Резонансные состояния элементарных частиц. М., 1964.

Кварки — это гипотетические объекты, из которых, как принято теперь думать, построены сильно взаимодействующие элементарные частицы — адроны. Свойства кварков необычны. Во-первых, они должны обладать дробным электрическим зарядом, кратным одной трети заряда электрона. Во-вторых, и это главное — кварки, по-видимому, существуют только внутри адронов, а не сами по себе в свободном состоянии. В этом плане они являются объектами совершенно нового типа, и их открытие означает очередную революцию в физике.

На страницах «Природы» кварки упоминались неоднократно. Цель настоящей статьи — рассказать более последовательно о том, как возникло и развивалось представление о кварках.

СИЛЬНОВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ ЧАСТИЦЫ — АДРОНЫ

Понятие кварков возникло в результате попыток построить правдоподобную систематику частиц, участвующих в сильном взаимодействии. В окружающем нас веществе сильное взаимодействие ответственно за ядерные силы, которые связывают протоны и нейтроны в атомном ядре. Исследование процессов, происходящих при столкновениях частиц высоких энергий с

ядерными мишенями или друг с другом, показало, однако, что круг явлений, определяемых сильным взаимодействием, много шире. Он включает, прежде всего, бесчисленные реакции рождения, уничтожения и взаимного превращения различных частиц. Элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии, принято называть адронами — от греческого *адрос* — крупный, массивный¹. Число адронов очень велико: вместе с античастицами их известно свыше 350, но в окружающем нас ядерном веществе присутствуют лишь два из них — протон и нейтрон. Остальные адроны нестабильны: прожив не дольше 10^{-8} секунды, они распадаются на другие частицы.

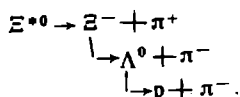
Адроны подразделяются на три большие группы — барионы, антибарионы и мезоны. Протон и нейтрон являются легчайшими из барионов. При распаде любого бариона возникают частицы, в числе которых всегда присутствует один и только один барион (разумеется, более легкий), так что в конце цепочки барионных распадов обязательно появляется самый легкий из них — протон (p), которому уже не на

¹ Этот термин был предложен в 1962 г. Л. Б. Окунем.

Таблица 1
Адроны

Сорт адронов	Обозначение	Барионное число B^*	Спин J	Число частиц в унитарном супермультиплетте	Кварковый состав
Барионы	B	+1	1/2, 3/2...	1, 8, 10	qqq
Мезоны	M	0	0, 1...	1, 8	$q\bar{q}$
Антибарионы	$\bar{B}$	-1	1/2, 3/2...	1, 8, 10	$\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

что распадаться. Приведем пример цепочки распадов такого рода²:



Повышая энергию сталкивающихся элементарных частиц, можно образовать сколь угодно большое число барионов, однако вместе с каждым новым барионом при этом обязательно рождается и новый антибарион, как, например, в процессе аннигиляции позитрона и электрона в протон-антипротонную пару: $e^+ + e^- \rightarrow p + \bar{p}$. Поэтому можно утверждать, что величина, равная числу барионов минус число антибарионов, — ее называют барионным числом B^* — сохраняется во всех без исключения процессах, известных на сегодняшний день. По определению, для барионов $B^* = +1$, для их античастиц (антипротонов $\bar{p}$, антинейтронов $\bar{n}$ и т. д.) $B^* = -1$, для всех остальных частиц $B^* = 0$.

Если бы не было такой сохраняющейся величины, как барионное число, протоны были бы нестабильны. Они распались бы на более легкие частицы, например на позитрон и нейтральный π -мезон ($p \rightarrow e^+ + \pi^0$), и мир не мог бы существовать. Сохранение барионного числа проверено с очень высокой точностью: протон «живет», не распадаясь, не менее $2 \cdot 10^{30}$ лет, что на 20 порядков превышает время существования нашей Вселенной.

Существование антибарионов подтверждено опытом только для 10—15 самых легких частиц этого типа, однако нет никаких оснований сомневаться в наличии и более тяжелых антибарионов.

Частицы, которые можно было бы

назвать антимезонами, имеют $B^* = 0$ и потому тоже относятся к разряду мезонов. Например, заряженные π^+ и π^- являются античастицами по отношению друг к другу, а нейтральный π^0 — сам себе античастица.

ИЗОТОПИЧЕСКАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ СИЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В основе систематики адронов лежит закономерность, проявляющаяся в том, что частицы с разным электрическим зарядом собираются в определенные группы. Такие группы принято называть изотопическими мультиплеттами³.

Адроны, входящие в один изотопический мультиплет, обладают, во-первых, почти совпадающими массами, которые различаются не более чем на несколько МэВ, во-вторых, одинаковыми квантовыми числами типа спина, т. е. собственного момента количества движения, и, наконец, различными электрическими зарядами, отличающимися один от другого на ± 1 . Известны изотопические мультиплеты четырех типов с числом частиц 1 (так называемый синглет), 2 (дублет), 3 (триплет), 4 (квартет). Мультиплеты с большим числом частиц не найдены.

Появление изотопических мультиплетов обусловлено тем фактом, что сильное взаимодействие не зависит от электрического заряда. Нейтрон и протон, например, обладают различным зарядом, но в сильном взаимодействии участвуют одинаково. Поэтому основная часть их массы, за которую ответственно как раз сильное взаимодействие, также одинакова. Сравнительно небольшое различие масс связано с относительно малым вкладом электромаг-

² Здесь Ξ , Ξ^* , Λ , p — символы барионов, а индексы обозначают их заряд.

³ Название является не слишком точным, поскольку изотопами принято называть ядра с разным атомным весом, но одинаковым зарядом; тем не менее оно общепотребительно.

нитного взаимодействия, которое, разумеется, чувствительно к заряду частицы, но зато намного слабее. Закономерность, связанная с зарядовой независимостью сильного взаимодействия, не исчерпывается близостью адронных масс в пределах каждого мультиплета, а является более глубокой. Целый ряд процессов с участием адронов из одних и тех же изотопических мультиплетов, но с различными электрическими зарядами протекают сходным образом — вероятности таких процессов равны. К ним относятся, например, реакции $\pi^+ + p \rightarrow p + \pi^0$ и $\pi^+ + n \rightarrow p + \pi^0$. На математическом языке отмеченная закономерность означает наличие определенной группы симметрии сильного взаимодействия (так называемой группы SU (2)). Для читателя, знакомого с квантовой механикой, можно сказать, что теория с такой группой симметрии содержит волновые функции протона $\psi_p(x)$ и нейтрона $\psi_n(x)$ только в «инвариантных» сочетаниях типа $\psi_p^*(x_1)\psi_p(x_2) + \psi_n^*(x_1)\psi_n(x_2)$ (здесь звездочка означает комплексное сопряжение) или $\psi_p^*(x_1)\psi_n(x_2) - \psi_n^*(x_1)\psi_p(x_2)$, которые не меняются, если перейти от протона p и нейтрона n к их формальным комбинациям p' и n' , волновые функции которых определены как

$$\psi_{p'}(x) = a\psi_p(x) + b\psi_n(x),$$

$$\psi_{n'}(x) = -b^*\psi_p(x) + a^*\psi_n(x).$$

Здесь a и b — комплексные параметры, которые удовлетворяют равенству $a^*a + b^*b = 1$, а в остальном произвольны.

При наличии других адронов число возможных инвариантных выражений возрастает. Утверждение о наличии группы симметрии в теории сильного взаимодействия означает теперь, что если определенным образом перемешать с одними из теми же параметрами a и b адроны в каждом мультиплете (т. е. не только p , n , но и π^+ , π^0 , π^- и т. д.), то уравнения теории (даже если в явном виде они не известны) не изменятся, какими бы ни были значения a и b , остающиеся произвольными. Иными словами, теория с группой симметрии должна выглядеть одинаково как для p , n , π^+ , π^0 , π^- ..., так и для p' , n' , $\pi^{+'}$, $\pi^{0'}$, $\pi^{-'}$...

Наличие симметрии SU (2) в теории сильного взаимодействия часто называют изотопической инвариантностью, или изотопической симметрией. Заметим, что утверждение об изотопической инвариантности теории не означает, что нам ясна динамика сильного взаимодействия. Процессы,

определяемые такой динамикой, могут происходить как угодно; изотопическая инвариантность означает только, что, например, сходные процессы с участием протона или нейтрона протекают одинаково, но не более.

Если бы изотопическая инвариантность не нарушалась, то в нашем распоряжении не было бы способа отличить протон от нейтрона или их произвольной смеси. Сделать это позволяет тот факт, что сила электрического или магнитного взаимодействия, в отличие от сильного, пропорциональна заряду частицы: поскольку нейтрон зарядом не обладает, в теорию электромагнитного взаимодействия входит уже не симметричная комбинация $\psi_p^*\psi_p + \psi_n^*\psi_n$, а только выражение $\psi_p^*\psi_p$, которое, конечно, изменится, если перейти к p' и n' .

Изотопическая инвариантность является примером внутренней симметрии теории, связанной не со свойствами пространства и времени, а с дополнительными, или внутренними, переменными типа электрического заряда.

Вернемся теперь к изотопическим мультиплетам. Прежде всего, возможность объединить адроны в мультиплеты позволяет несколько сократить число обозначений. Для всех членов одного мультиплета используют один символ, при котором в виде индекса ставится заряд частицы. Например, три π -мезона обозначаются π^+ , π^0 , π^- , нейтрон n и протон p называют нуклонами и обозначают буквой N и т. д.

Каждый мультиплет адронов характеризуется двумя величинами: числом частиц в нем и их средним электрическим зарядом (Q). Вместо последнего обычно используют удвоенный средний заряд $Y = 2\langle Q \rangle$, называя эту величину гиперзарядом. Удвоение производится только для того, чтобы для адронов значение Y всегда было целым⁴.

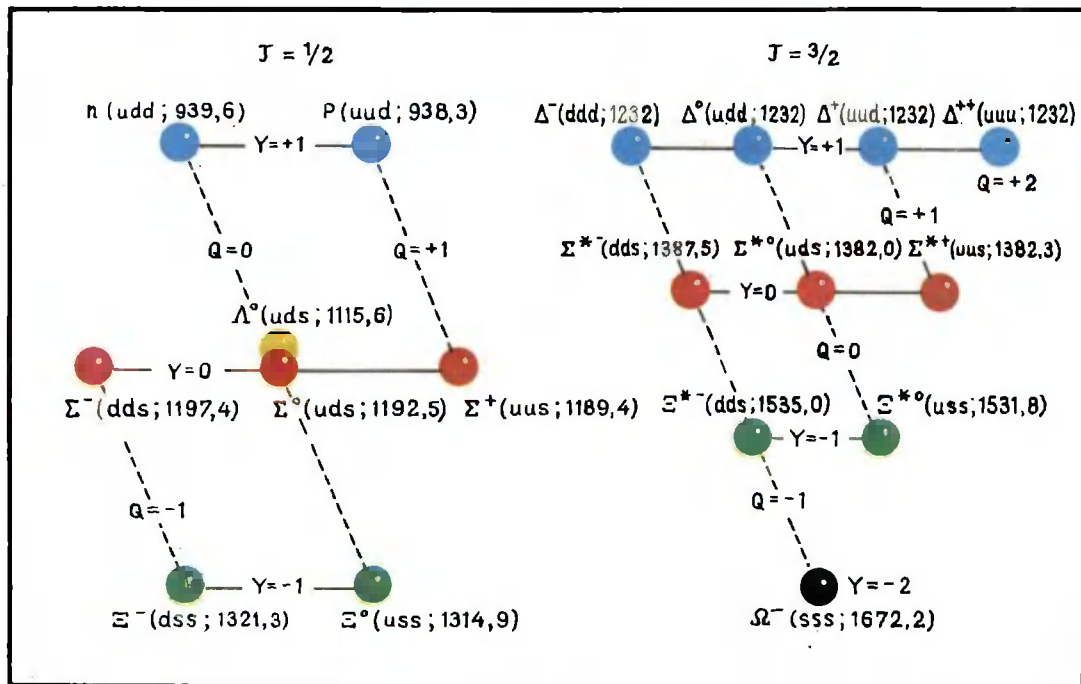
УНИТАРНАЯ СИММЕТРИЯ И «ТАБЛИЦА МЕНДЕЛЕЕВА» ДЛЯ АДРОНОВ

Число изотопических мультиплетов меньше числа адронов, но все еще очень велико. Поэтому на грани 50—60-х годов предпринимались попытки установить бо-

⁴ Иногда вместо Y используется величина, называемая странностью S , которая определяется как гиперзаряд минус барионное число: $S = Y - B$. Это позволяет говорить о «странных» ($S \neq 0$) и «нестранных» ($S = 0$) адронах. Последние (p , n , π) были открыты раньше странных (K , Λ , Σ , Ξ). С этим и связано название.

более высокую симметрию сильного взаимодействия, которая позволила бы как-то объединить разные мультиплеты в более обширные семейства — «супермультиплеты». В конце концов удалось найти симметрию такого рода, согласующуюся с экспериментом. Она получила название унитарной симметрии, или группы симметрии $SU(3)$. Физический смысл унитарной симметрии состоит в том, что сильное взаимодействие — какова бы ни была его динамическая структура — не зависит ни от электрического заряда Q , ни от гипер-

в пределах супермультиплета были бы одинаковы. На опыте, однако, массы адронов из разных изотопических мультиплетов не совпадают. (Забегая вперед, скажем, что, согласно современным представлениям, это обусловлено различием между массами кварков, связанным со структурой не сильного, а слабого взаимодействия.) В пределах одного супермультиплета различие масс частиц из разных изотопических мультиплетов не слишком велико — около 150—200 МэВ при средней массе в супермультипете ~ 1000 МэВ.



Октет барионов со спином $J=1/2$ (слева) и декуплет барионов с $J=3/2$ (справа). Одинаковый цвет указывает здесь на принадлежность частиц к одному изотопическому мультиплету.

Сплошными линиями соединены барионы с одним и тем же гиперзарядом Y , пунктиром — с одинаковым значением электрического заряда Q . В скобках приведены кварковый состав барионов и их масса в МэВ.

Различие в массах частиц, принадлежащих изотопическому мультиплету Δ , пока измерено недостаточно хорошо, поэтому для всех частиц дано значение массы Δ^{++} .

заряда Y . Поэтому в один супермультиплет входят адроны с одинаковым спином, различающиеся не только зарядом (такое имело место и внутри изотопических мультиплетов), но и гиперзарядом.

Если бы существовало только сильное взаимодействие, то массы всех частиц

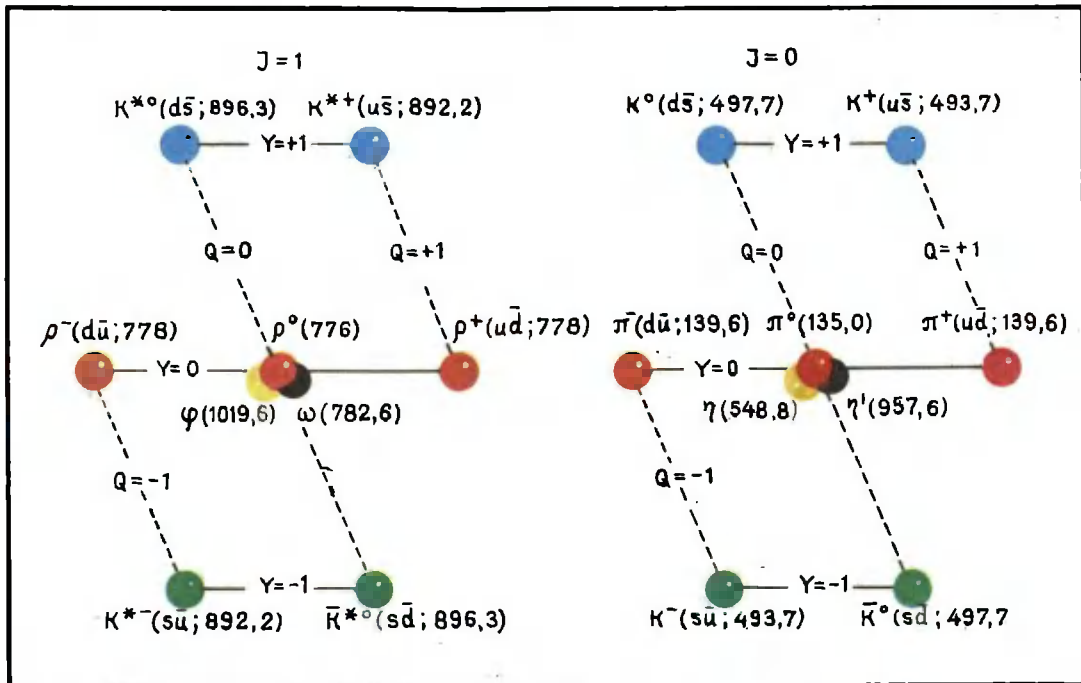
Унитарная симметрия сильного взаимодействия подтверждается на опыте с довольно хорошей точностью.

В первой половине 60-х годов большое впечатление произвела история с открытием бариона Ω^- . Теория унитарной симметрии даже с учетом ее нарушения предсказывала, что в супермультипете, содержащем десять барионов (декуплете) со спином $3/2$, массы частиц, входящих в различные изотопические мультиплеты, должны быть эквидистантны, т. е. одинаково отстоять друг от друга. Открытые раньше других барионы $\Delta(1232)$ и $\Sigma^+(1385)^5$

⁵ Здесь в скобках приводятся массы этих частиц.

различались по своей массе приблизительно на 150 МэВ. Затем был открыт барион Ξ^* (1530), который тяжелее Σ^* (1385) на величину того же порядка (145 МэВ). Это позволило М. Гелл-Манну выступить летом 1962 г. с предсказанием еще одной частицы — Ω^- , необходимой для завершения унитарного декуплета. Ее масса должна была быть около 1675 МэВ — на 145 МэВ больше массы Ξ^* . Вдобавок, эта частица должна была иметь гиперзаряд $Y=-2$, а так как построить более легкое адронное состояние с таким гиперзарядом

живущие адроны распадаются за счет сильного взаимодействия куда быстрее — через 10^{-23} — 10^{-22} с). Долгоживущих частиц не так много, и предсказание нового адрона привлекло большое внимание. Спустя полтора года (в начале 1964 г.) барион Ω^- с массой ~ 1672 МэВ и временем жизни $1,1 \cdot 10^{-10}$ с был обнаружен экспериментаторами. С этого времени теория унитарной симметрии является общепризнанной. Все известные барионы удается поместить в супермультиплеты трех сортов с числом частиц 1 (синглет), 8 (октет) и



Девяти мезонов со спином $J=1$ (слева) и $J=0$ (справа). Как и на предыдущем рисунке, одинаковым цветом показаны частицы, принадлежащие одному изотопическому мультиплету. Мезоны с одним и тем же гиперзарядом Y соединены сплошными линиями, с равным электрическим зарядом Q — пунктиром. В скобках указаны кварковый состав и массы частиц в МэВ. Мезоны с $Y=Q=0$ (π^0 , η , η' и ρ , ω) состоят из кварк-антикварковых пар $u\bar{u}$, $d\bar{d}$, $s\bar{s}$, смешанных в разных пропорциях.

оказалось невозможным, она, в отличие от других частиц в декуплете — Δ , Σ^* и Ξ^* — не могла распасться на другие адроны за счет сильного взаимодействия, которое не меняет Y . Распад Ω^- мог происходить лишь за счет слабого взаимодействия, не сохраняющего гиперзаряд, и потому этот барион должен был быть долгоживущим, со средним временем жизни $\sim 10^{-10}$ с (коротко-

10 (декуплет), тогда как мезоны образуют девятки, представляющие совокупность унитарного октета и синглета.

В рамках унитарной симметрии обнаруживаются «периодические» закономерности в спектре масс адронов. Рассмотрим, например, табл. 2 для барионов. Изотопические мультиплеты с одинаковым числом частиц и гиперзарядом обозначаются в ней одной и той же буквой, а в скобках дается значение массы, свое для каждого мультиплета. Состояния с отрицательным гиперзарядом ($Y<0$) в табл. 2 не включены: создавать и тем более исследовать такие барионы, как Ξ или Ω , очень трудно, и число известных частиц такого типа мало. Бросается в глаза наличие в табл. 2 повторяющихся супермультиплетов, содержащих

Таблица 2

Барионы с неотрицательным гиперзарядом

Орбитальный момент трех кварков L	Спин бариона J	Число частиц в унитарном супермульти- плекете	Y = 1		Y = 0	
			Дублет Q = +, 0	Квартет Q = ++, +, 0, —	Синглет Q = 0	Триплет Q = +, 0, —
0	1/2	8	N(940)		Λ (1115)	Σ (1190)
	3/2	10		Δ (1232)		Σ (1385)
1	1/2	1			Λ (1405)	
		8	N(1535)		Λ (1760)	Σ (1750)*
		10		Δ (1650)		?
		8	N(1700)		Λ (1870)	Σ (2000)
	3/2	1			Λ (1520)	
		8	N(1520)		Λ (1690)	Σ (1670)
		10		Δ (1670)*		?
		8	N(1700)*	?	Λ (1940)*	
	5/2	8	N(1610)		Λ (1830)	Σ (1765)
	2	1/2	10		Δ (1910)	
3/2		8	N(1810)*		Λ (1860)*	Σ (1840)***
		10		Δ (1900)*		Σ (2080)**
5/2		8	N(1688)		Λ (1815)	Σ (1915)
		10		Δ (1890)		Σ (2070)***
	7/2	10		Δ (1950)		Σ (2080)

Примечание: известны также адронные состояния с отрицательным гиперзарядом, которые завершают унитарные супермультиплеты с $J = 1/2$ и $3/2$. Состояния, отмеченные знаком *, существуют, но их параметры известны не с абсолютной надежностью; ** — требуют подтверждения; *** — возможны; ? — предсказаны кварковой моделью, но кандидатов пока нет.

адроны с разными массами и спинами, но одинаковыми O и Y. В этом плане она сходна с таблицей химических элементов Д. И. Менделеева, в которой при повышении атомного номера и веса элементов имеет место повторение их химических свойств. То же самое можно сказать и про аналогичную таблицу для мезонов (мы не приводим ее ради экономии места). Все же существование унитарных супермультиплетов лишь трех типов с числом частиц в них 1, 8 и 10 нетривиально. Именно этот факт и привел к гипотезе о существовании кварков.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГИПОТЕЗЫ КВАРКОВ

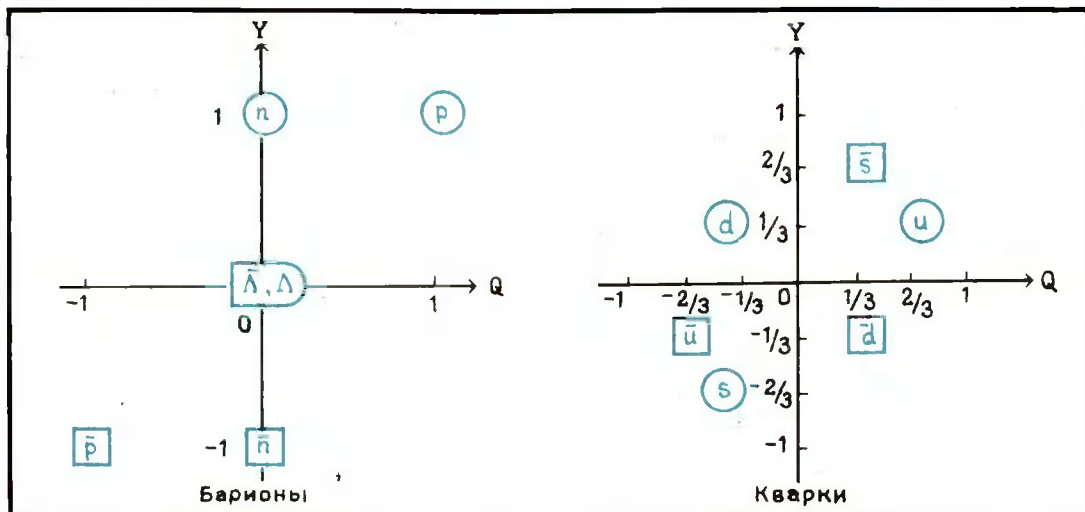
Если не говорить о неинтересном полностью нейтральном синглете, для которого $Q=Y=0$, то простейший унитарный супермультиплет должен состоять из трех частиц. Две из них, p и n, различаются электрическим зарядом, две других, p и

Λ , — гиперзарядом; третья пара, p и Λ , — и тем и другим. В первоначальной версии унитарной симметрии именно эти три бариона p, n и Λ считались простейшим триплетом, а остальные адроны строились из этой тройки и трех их античастиц (так называемая модель Сакаты). Затем, однако, выяснилось, что p, n и Λ не образуют самостоятельную тройку, а входят в состав другого супермультиплета, содержащего 8 барионов. Триплета адронов так и не нашли. Возник вопрос, почему в природе не реализуется простейшая возможность — нет триплетов, тем более, что простейших изотопических мультиплетов — дублетов типа p и n, члены которых различаются только своим зарядом, найдено сколько угодно.

Кроме того, необходимо было понять, почему имеют место унитарные супермультиплеты только трех типов — синглет, октет и декуплет, — и нет никаких других, не только более простых, вроде упоминавшегося только что триплета, но и более

сложных, скажем семейства из 27 частиц, допускаемого теорией симметрии.

Обе проблемы, вообще говоря, не слишком серьезны, поскольку у теоретиков всегда имеется возможность сослаться на неизвестную динамику сильного взаимодействия, разрешающую почему-то существовать одним супермультиплетам и запрещающую другим. И все же ответ на указанные вопросы, предложенный гипотезой о кварках, оказался более однозначным и элегантным. Смысл этой гипотезы заключается в следующем.



Унитарные триплеты: слева — барионы p, n и Λ в модели Сакеты и их античастицы (заряды всех частиц целочисленные); справа — кварки и антикварки с дробными электрическими зарядами.

Предполагается, что унитарный триплет существует, но не на уровне элементарных частиц — адронов, а на еще более фундаментальном уровне «прачастиц», называемых кварками⁶. Адроны строятся из кварков подобно тому, как ядра строятся из протонов и нейтронов. Три «прачастицы» — три кварка — имеют спин 1/2. Их принято обозначать буквами u, d и s (от англ. up — вверх, down — вниз и

strange — странный). При этом u и d составляют изотопический дублет типа p и n, а s является изотопическим синглетом типа Λ . Соответственно антикварки, которые составляют так называемый антитриплет, обозначают $\bar{u}$, $\bar{d}$, $\bar{s}$.

Если наличие триплета прачастиц снимает первую из двух отмеченных трудностей унитарной симметрии, то второй постулат гипотезы кварков фиксирует структуру адронов как составных систем. Принимается, что мезоны M образуются как связанные состояния кварка q и антикварка

$\bar{q}$: $M = q\bar{q}$, тогда как барионы B представляют собой связанные состояния трех кварков (соответственно антибарионы $\bar{B}$ — трех антикварков): $B = qqq$, $\bar{B} = \bar{q}\bar{q}\bar{q}$.

В математике существует специальный раздел, так называемая теория групп, в котором исследуются всевозможные свойства симметрии. В частности, в теории групп показано, что при соединении унитарного триплета и антитриплета возникают два других супермультиплета — синглет и октет, тогда как соединение трех триплетов позволяет получить синглет, два октета и декуплет. Это означает, что построенные по приведенному рецепту адроны существуют в составе тех и только тех супермультиплетов, которые наблюдаются на опыте.

В плане систематики частиц успех гипотезы кварков оказался несомненным. С другой стороны, немедленно возникли новые проблемы, и прежде всего проблема обнаружения и экспериментального исследования кварков самих по себе.

⁶ Гипотезу о существовании таких частиц выдвинули в 1964 г. М. Гелл-Манн и Дж. Цвейг. Гелл-Манн предложил название «кварки», а Цвейг — «эйсы» (от англ. ace — туз). Привилось первое.

ПОИСКИ КВАРКОВ

Свойства кварков должны быть необычны. Прежде всего три кварка u , d и s не могут иметь целочисленные электрические заряды, такие как три адрона p , n и Λ (т. е. $+1$, 0 , 0) в модели Сакаты. Иначе из них, например, нельзя было бы построить отрицательно заряженные барионы типа Σ^- , Ξ^- и Ω^- . Кваркам u , d и s приходится приписывать дробные электрические заряды ($+2/3$, $-1/3$ и $-1/3$ соответственно). Тогда заряд протона ($p=uud$) равен $+1$, $n=udd$ и $\Lambda=uds$ не заряжены, $\Sigma^- = dds$ имеет заряд -1 и т. д. Кроме того, конечно, у кварков должно быть дробное барионное число $B^* = 1/3$, ибо кварк — это «треть» бариона, и дробный гиперзаряд.

Утверждение, что кварки обладают дробными электрическими зарядами, делает их объектами весьма необычными и потому, казалось бы, удобными для наблюдения. Кроме того, из-за дробного заряда кварк не может распасться на обычные частицы с целым или нулевым зарядом. Отсюда следует, что самый легкий из кварков должен быть стабилен. Поэтому как только была высказана гипотеза о существовании кварков, их принялись искать везде — в различных веществах на поверхности Земли, в космических лучах, на ускорителях элементарных частиц. Поиски кварков продолжают по сей день.

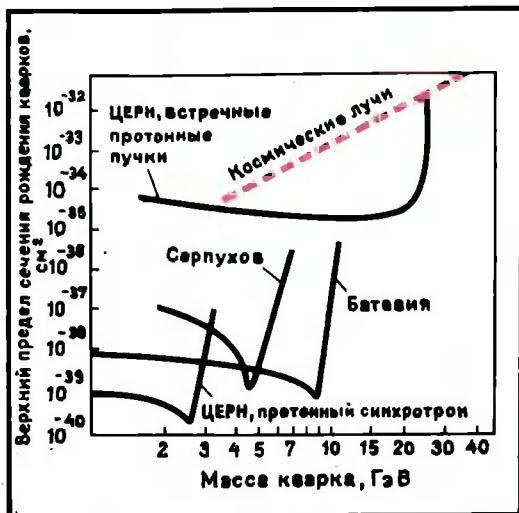
В экспериментах на ускорителях пытались обнаружить рождение кварк-антикварковых пар в столкновениях протонов с протонами или нейтронами. Необходимо отметить, что чем выше энергия ускоряемых протонов, тем больше масса кварков, которые, в принципе, могут быть обнаружены на данном ускорителе. Результаты всех экспериментов оказались отрицательными. Сечение рождения легких кварков с массой до 10 ГэВ не превышает 10^{-39} — 10^{-38} см², тогда как для более тяжелых кварков с массой вплоть до 25 ГэВ верхний предел сечения близок к 10^{-34} см². Для сравнения заметим, что сечение рождения адронов обычно $\sim 10^{-25}$ — 10^{-30} см².

В космических лучах кварки также не найдены. С достоверностью 90% поток кварков в космических лучах не превышает $(1 \div 2) \cdot 10^{-11}$ 1/см² · с · стерад, тогда как поток космических протонов с энергией более 1 ГэВ равен 1 1/см² · с · стерад — в 10^{11} раз больше этой величины.

Распространенность кварков в земных условиях исследовалась для большого набора веществ, включая воду, воздух,

известняк, лаву, пыль, планктон, устрицы, метеориты и т. п. Отсутствие кварков установлено с точностью $\sim 10^{-17}$ — 10^{-23} по отношению к числу протонов и нейтронов.

Здесь, однако, имеется одно исключение. Группа В. Фейрбенка (США) измеряла заряды маленьких сверхпроводящих шариков диаметром около $0,1$ мм, заставляя их осциллировать в переменном электрическом поле. Величина осцилляций зависела от электрического заряда шарика. Эксперимент представлял собой рафинированную версию знаменитого опыта Мил-



Верхний предел сечения рождения кварков с зарядом $1/3$ в pp -столкновениях в зависимости от предположения о величине массы кварка. Показаны результаты, полученные на ускорителях протонов в Серпухове (СССР), Батавии (США) и ЦЕРНе (Европейский Центр ядерных исследований в Женеве), а также в экспериментах с космическими лучами. Значение верхнего предела сечения для кварков с зарядом $\pm 2/3$ имеет такой же порядок величины.

ликена, в котором был впервые измерен заряд электрона. Авторы сообщили, что, исследовав девять ниобиевых шариков с полной массой $7 \cdot 10^{-4}$ г, на трех из них, находившихся на вольфрамовой подложке, они нашли заряд, равный с точностью до целого числа одной трети заряда электрона⁷. Это отвечает одному кварку примерно на 10^{20} протонов и нейтронов. Промывая шарики ацетоном, можно было удалить с них дробный заряд. Кроме того, такой

⁷ La Rue G. S., Fairbank W. M., Phillips T. D. «Phys. Rev. Letters», 1977, v. 38, p. 1011; 1979, v. 42, p. 142, 1019.

заряд появлялся или исчезал в результате электрического разряда. Эти факты интерпретировались как указание на то, что кварки находятся на поверхности шариков. Отсутствие кварков где бы то ни было, кроме ниобия в контакте с вольфрамом, должно быть, по-видимому, приписано их специфическим химическим свойствам. В этой связи надо отметить, что в аналогичных экспериментах с шариками из железа, проведенных в СССР и Италии, дробных электрических зарядов не было найдено⁸.

Опыт Фейрбанка и др. оказался единственным, в котором сообщается об обнаружении кварков. Экспериментов с отрицательным результатом насчитывается свыше десятка. Поэтому пока наиболее правдоподобным представляется все же отсутствие реликтовых кварков на поверхности Земли. Принимая во внимание еще и отрицательные результаты опытов с космическими лучами и на ускорителях, приходится сделать вывод, что на нынешнем уровне эксперимента свободные кварки не найдены⁹.

Этому можно дать тривиальное объяснение, предположив, что кварки очень тяжелые (например, судя по результатам экспериментов на ускорителях, их масса должна быть не ниже 25 ГэВ). Такое объяснение, однако, представляется непривлекательным. Например, эффективная масса каждого из трех кварков внутри протона близка к $m_p/3 \approx 0,3$ ГэВ, что в сто раз меньше минимальной величины для массы свободного кварка. Это означает, что, связывая кварки в адрон, сильное взаимодействие «съедает» практически всю их массу. В итоге в теории не остается никакого разумного масштаба масс. Если допустимо уменьшение массы от 30 до 0,3 ГэВ, т. е. на 99%, то не менее вероятно и ее уменьшение на 99,999...%. Иначе говоря, если легких кварков в свободном виде нет, то они могут быть сколь угодно тяжелыми, и тогда надежда обнаружить их на следующем поколении ускорителей выглядит весьма иллюзорной.

Другое объяснение, существенно менее тривиальное, состоит в допущении, что имеется некоторый специальный меха-

низм, который не позволяет свободным кваркам вылетать из адрона. Об имеющихся догадках по этому поводу говорится в конце статьи.

ЕЩЕ О СИСТЕМАТИКЕ АДРОНОВ

Вернемся теперь к кварковой модели адронов и ее экспериментальным подтверждениям. Вопрос этот тем более важен, что кварков в свободном виде не найдено, и нужны достаточно веские основания для убеждения, что они вообще существуют. Оснований такого рода накопилось много. Приведем лишь несколько примеров. Прежде всего, представление о кварках позволило завершить систематику адронов, объединив различные унитарные супермультиплеты в небольшое число адронных семейств.

Рассмотрим, например, ситуацию с барионами в табл. 2. В модели кварков все эти барионы представляют совокупность лишь трех семейств, различающихся значением орбитального момента L в системе трех кварков, который возникает вследствие их вращения вокруг общего центра инерции. В низшем по энергии состоянии, как правило, $L=0$. При этом спин бариона определяется исключительно сложением трех спиновых моментов кварков, каждый из которых равен $1/2$. В результате такого сложения полный спин J системы трех кварков может быть равен либо $1/2$, либо $3/2$. Действительно, на опыте самые легкие барионы — это октет с $J=1/2$ и декуплет с $J=3/2$.

Здесь, однако, теория столкнулась с определенными трудностями, и в связи с этим нам придется сделать отступление. Дело в том, что существование именно декуплета барионов с $J=3/2$, равно как и октета с $J=1/2$, противоречит одному из фундаментальных правил атомной физики — принципу Паули. Согласно ему тождественные частицы с полуцелым спином не могут находиться в одинаковом квантовом состоянии. (Именно поэтому электроны в атоме вынуждены заполнять более высокие по энергии оболочки, когда более низкие уже заняты другими электронами.) В то же время декуплет барионов содержит состояния $\Delta^{++}=uuu$, $\Delta^{-}=ddd$ и $\Omega^{-}=sss$, составленные из трех тождественных кварков. Более того, спин таких барионов равен $3/2$, а это означает, что и спины трех кварков направлены одинаково. Противоречие с принципом Паули очевидно. Чтобы избавиться от отмеченного затруднения, приходится предположить, что

⁸ Braginsky V. B., Kornienko L. S., Poloskov S. S. «Phys. Letters», 1970, v. 33 B, p. 613; Gallinaro G., Marinelli M., Morgurgo G. «Phys. Rev. Letters», 1977, v. 38, p. 1255.

⁹ Подробное описание опытов по поискам кварков и их результатов можно найти в обзоре: Jones L. M. «Revs. Mod. Phys.», 1977, v. 49, p. 717.

три кварка внутри бариона на самом деле не тождественны, иначе говоря приписать им еще одно квантовое число, которое может принимать три различных значения. Это число было названо «цветом». В качестве трех его возможных значений принято называть три основных оттенка видимого спектра — красный, зеленый и синий. Их комбинация составляет белый цвет, так что три кварка, «окрашенные» по-разному, вместе дают белое, или, лучше сказать, бесцветное состояние бариона. Антикварки окрашены в дополнительные цвета: «антикрасный» — голубой, «антизеленый» — пурпурный и «антисиний» — желтый. Поэтому бесцветен не только антибарион, но и мезон, который является комбинацией цветного кварка с антикварком соответствующего дополнительного цвета. К проблеме цветных кварков мы еще вернемся, пока же вновь обратимся к табл. 2.

В квантовой механике принцип запрета формулируется как требование антисимметрии (т. е. замены знака плюс на минус и обратно) волновой функции сложной системы при перестановке местами любой пары тождественных составляющих с полуцелым спином. В данном случае бесцветной системы трех кварков в состоянии с $L=0$ требование антисимметрии однозначно приводит именно к таким состояниям, какие наблюдаются на опыте — октету барионов с $J=1/2$ и декуплету с $J=3/2$. Подобная ситуация имеет место и для барионов со следующим по величине значением орбитального момента $L=1$. Не вдаваясь в формально-математическую аргументацию, скажем только, что требование антисимметрии волновой функции приводит в этом случае в большому набору состояний, включающему октет с $J=5/2$, а также декуплет, два октета и синглет барионов с $J=3/2$ и $1/2$. Замечательно, что, как следует из табл. 2, почти все предсказанные здесь состояния типа N , Δ , Λ и Σ уже найдены. Состояние с $L=2$ в системе трех кварков может иметь место в виде октетов с $J=5/2$ и $3/2$ и декуплетов с $J=7/2$, $5/2$, $3/2$ и $1/2$. Из табл. 2 видно, что на опыте найдены практически все состояния типа N , Δ , Λ и Σ , входящие в такие супермультиплеты.

Классификация по орбитальному моменту L в системе кварк — антикварк привела к систематике мезонов, содержащей лишь три или четыре семейства. Таким образом, кварковая модель позволила довести феноменологию адронов до фактического завершения. Совокупность несколь-

ких сотен известных к настоящему времени частиц сведена в результате к десятку кварковых систем $qq\bar{q}$ или $q\bar{q}$, различающихся значениями орбитального момента.

КВАРКОВАЯ МОДЕЛЬ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Рассмотрим теперь несколько количественных предсказаний, вытекающих из кварковой модели, и сравним их с опытными данными. Начнем с соотношения для

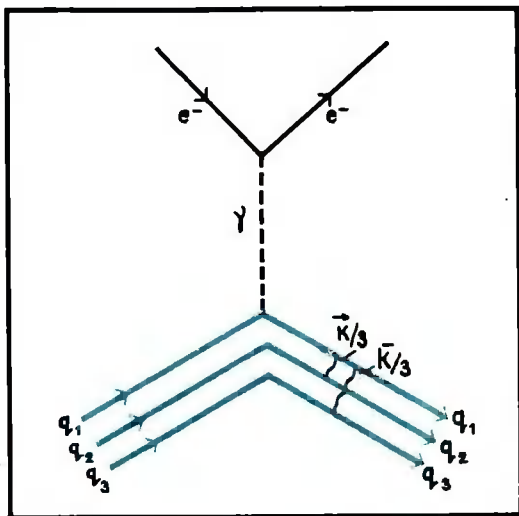


Иллюстрация кваркового счета в процессе $e^- + p \rightarrow e^- + p$. Испуская фотон γ с импульсом k , электрон рассеивается на большой угол. Один из кварков протона, например q_1 , получивший в результате большой импульс k , должен увлечь за собой два других кварка (q_2 и q_3). Чтобы поделить этот импульс примерно поровну между всеми тремя кварками, необходимо, по меньшей мере, два кварк-кварковых взаимодействия [обозначены на рисунке волнистыми линиями].

магнитных моментов протона и нейтрона. Магнитный момент частицы определяет частоту, с которой ее спин вращается во внешнем магнитном поле. Его принято выражать через так называемый магнетон, который равен $e\hbar/2mc$ (e — заряд частицы, m — ее масса). Если предположить, что кварк «элементарен», то его магнитный момент просто равен кварковому магнетону $e_q\hbar/2m_qc$, причем массы u - и d -кварков естественно считать одинаковыми вследствие изотопи-

ческой инвариантности. Тогда теория предписывает для составленных из этих кварков протона и нейтрона следующие значения магнитных моментов, обозначаемых μ_p и μ_n : $\mu_p = \mu_0$ (m_p/m_u), $\mu_n = -2/3 \mu_0$ (m_p/m_u). Здесь $\mu_0 = e\hbar/2m_p c$ — магнетон протона. Поделив первое из этих равенств на второе, приходим к простому соотношению $\mu_p/\mu_n = -3/2$, которое не зависит от значений масс. На опыте найдено $\mu_p = 2,793 \mu_0$, $\mu_n = -1,913 \mu_0$, так что $\mu_p/\mu_n = -1,512$ в прекрасном согласии с теорией.

может быть выражено через $\sigma(qq)$ — полное сечение взаимодействия налетающего кварка с кварком мишени: $\sigma(NN) = 9\sigma(qq)$. Аналогичным образом сечение нуклон-антинуклонного взаимодействия $\sigma(\bar{N}N)$ связано с $\sigma(\bar{q}q)$ — сечением взаимодействия антикварка и кварка: $\sigma(\bar{N}N) = 9\sigma(\bar{q}q)$. Наконец, когда с нуклонной мишенью сталкивается мезон, то его кварк или антикварк могут провзаимодействовать с любым из трех кварков нуклона, поэтому $\sigma(\pi N) = 3[\sigma(qq) + \sigma(\bar{q}q)]$. Таким об-

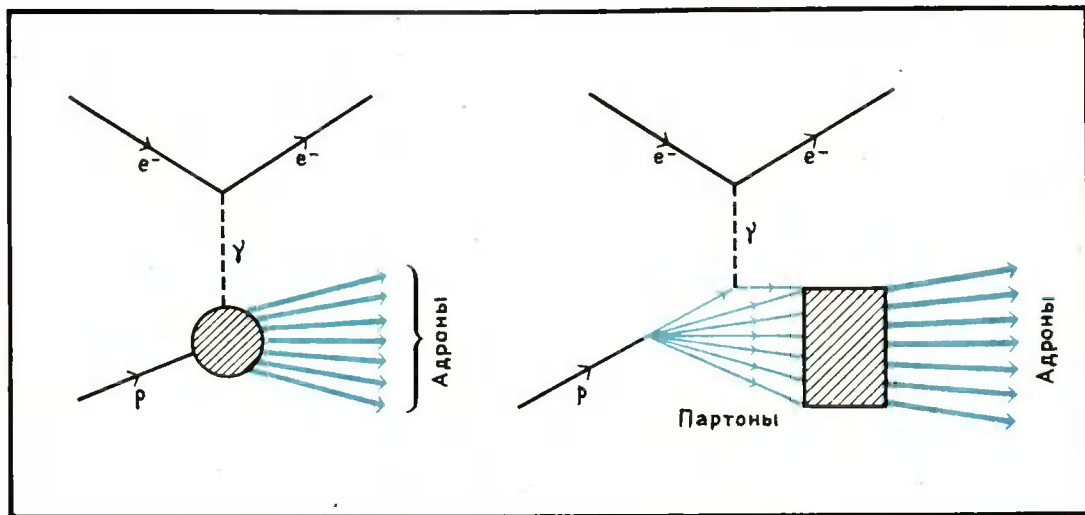


Схема глубоко неупругого рассеяния электрона на протоне (слева); тот же процесс согласно партонной модели (справа). В первом случае взаимодействие виртуального фотона γ с протоном p приводит к появлению произвольной системы адронов, допускаемой законами сохранения. Во втором случае этот процесс «расшифровывается»: взаимодействие фотона с одним из партонов приводит к тому, что партон получает большой импульс и вся партонная система перестраивается. В результате исходный протон превращается в совокупность вторичных адронов.

В качестве следующего примера обратимся к столкновениям адронов. Коль скоро они представляют собой рыхлые составные системы, естественно полагать, что при столкновении двух адронов друг с другом взаимодействуют элементы их структуры, т. е. кварки. В нуклоне имеются три кварка, поэтому, когда сталкиваются два нуклона, может произойти $3 \times 3 = 9$ взаимодействий различных кварк-кварковых пар. Вследствие этого полное сечение нуклон-нуклонного взаимодействия $\sigma(NN)$

разом, имеет место простое соотношение¹⁰:

$$[\sigma(NN) + \sigma(\bar{N}N)]/2\sigma(\pi N) = 3/2.$$

Правая часть этого равенства представляет собой отношение числа составляющих кварков или антикварков в барионе и мезоне. Полученное соотношение выполняется на опыте с точностью $\sim 15\%$: при энергии 100—200 ГэВ его левая часть равна 1,7. Соотношений такого рода написано довольно много, и эксперимент их, как правило, подтверждает.

Утверждение, что барион составлен из трех фундаментальных объектов, а мезон — из двух, подтверждается также успехом так называемого кваркового счета, т. е. установления зависимости ряда процессов от энергии или импульса участвующих в них адронов, исходя из известного числа кварков, содержащихся в этих адро-

¹⁰ Левин Е. М., Франкфурт Л. Л. «Письма в ЖЭТФ», 1965, т. 2, с. 105.

нах. Рассмотрим простейший пример упругого рассеяния электрона на протоне — реакцию $e^- + p \rightarrow e^- + p$. Налетающий электрон испускает «виртуальный» фотон и за счет «отдачи» рассеивается на некоторый угол. Фотон поглощается одним из кварков протона, скажем, кварком q_1 ; отдавая ему свой импульс $\vec{k}$. Чтобы протон остался протоном, этот импульс должен быть поделен поровну между всеми тремя кварками, которые должны лететь вместе: если кварки полетят в разные стороны, то протон «развалится» на несколько адронов, например на нейтрон и π^+ -мезон. Поэтому кварк q_1 должен увлечь за собой кварки q_2 и q_3 , передав каждому из них импульс $\sim \vec{k}/3$. Для этого должны произойти, по меньшей мере, два дополнительных кварк-кварковых взаимодействия с передачей импульса $\vec{k}/3$. Из общих соображений, вытекающих только из предположения об отсутствии в теории характерных больших масс (оно согласуется с соответствующими экспериментами), следует, что амплитуда каждого кварк-кваркового взаимодействия такого рода убывает с ростом k как $1/k^2$. Поэтому амплитуда ер-рассеяния, квадрат которой определяет вероятность того, что протон останется протоном (ее называют фактором протона), должна вести себя как $(1/k^2)^2$. В то же время в аналогичном процессе упругого ел-рассеяния, где кварков всего два и достаточно одного кварк-кваркового взаимодействия, фактор должен убывать как $1/k^2$. Эксперимент подтверждает эти утверждения, равно как и предсказания кваркового счета для более сложных чисто адронных двухчастичных процессов типа $a+b \rightarrow c+d$.

Из эксперимента была также получена прямая информация об электрическом заряде кварков. В соответствующих опытах изучался процесс $e^- + p \rightarrow e^- + \text{любые адроны}$. Эксперименты имели своей целью вовсе не изучение свойств кварков, а исследование внутренней структуры протона. Как и в описанной выше реакции упругого ер-рассеяния, электрон отклонялся на большой угол, обмениваясь с протоном «виртуальным» фотоном, однако протон мишень уже не оставался самим собой, а превращался в любую совокупность адронов, допускаемую законами сохранения.

Такой процесс получил название глубоко неупругого ер-рассеяния: неупругого — поскольку протон превращался в другие адроны, глубоко — потому что электрон должен был проникнуть «глубоко» внутрь протона, чтобы отклониться на большой угол.

В результате эксперимента оказалось, что глубоко неупругое ер-рассеяние происходит с довольно большой вероятностью. В этом плане очевидна аналогия со знаменитым опытом Резерфорда начала века, в котором были открыты атомные ядра. Возможность сравнительно часто-го отклонения электрона на большой угол означает, что внутри протона имеются точечные объекты. Если бы таких объектов не было и протон представлял собой некую сплошную среду (подобно атому в известной модели Дж. Дж. Томсона, опровергнутой Резерфордом), отклонение на большой угол было бы невозможно: снаряд, попавший в аморфную среду, может только замедлиться, практически не отклоняясь от направления начального движения. Аналогичный результат был получен и в опытах по глубоко неупругому рассеянию нейтрино на протонах, где исследовался процесс $\nu_\mu + p \rightarrow \mu + \text{любые адроны}$.

Точечные объекты внутри адрона были названы партонами (от англ. part — часть). Вначале думали, что в роли партонов могут выступать «виртуальные» адроны, которые в течение чрезвычайно короткого промежутка времени ведут себя как точечные объекты без внутренней структуры. Затем, однако, был измерен электрический заряд партонов. Для этого было произведено сравнение глубоко неупругого рассеяния электронов на легком ядре, состоящем из приблизительно одинакового числа протонов и нейтронов, с глубоко неупругим рассеянием нейтрино, которое определяется известной константой слабого взаимодействия. В результате было найдено, что средний квадрат партонного заряда очень близок к среднему заряду u - и d -кварков, т. е. к $(e_u^2 + e_d^2)/2 = 5/18$. Отсюда следовал вывод, что партоны — это не что иное, как кварки и что последние действительно обладают дробным электрическим зарядом.

Более детальный анализ показал, что кварки-партоны бывают двух типов. Во-первых, это так называемые валентные кварки. В барионах таких кварков три, а в мезонах — два (uud — в протоне, udd — в нейтроне, ud — в π^+ -мезоне и т. д.), причем сочетание их таково, что адрон имеет правильный электрический заряд и правильное барионное число. Во-вторых, в адроне

¹¹ Matveev V. A., Muradyan R. M., Tavkhelidze A. N., «Nuovo Cimento Letters», 1973, v. 7, p. 719; Brodsky S. T., Farrar G. B. «Phys. Rev. Letters», 1973, v. 31, p. 1153.

присутствует еще и целое «море» кварк-антикварковых пар, которое в целом нейтрально, ибо содержит одинаковое количество кварков и их античастиц. В этой связи приходится предположить, что составляющие адрон кварки, о которых говорилось до сих пор, представляют собой довольно сложные образования: каждый из них должен содержать в себе того же сорта валентный кварк-партон вместе с кварк-антикварковым «морем».

В процессах глубоко неупругого рассеяния роль «моря» сравнительно невелика, но пренебрегать им нельзя. Этим адрон отличается от атома, в котором имеется только одно ядро. Адрон можно уподобить галактике, состоящей из большого числа звезд, которые, однако, видны лишь в телескоп с достаточным увеличением. Роль такого телескопа, позволяющего «разрешать» тонкие объекты внутри протона, играет процесс глубоко неупругого рассеяния.

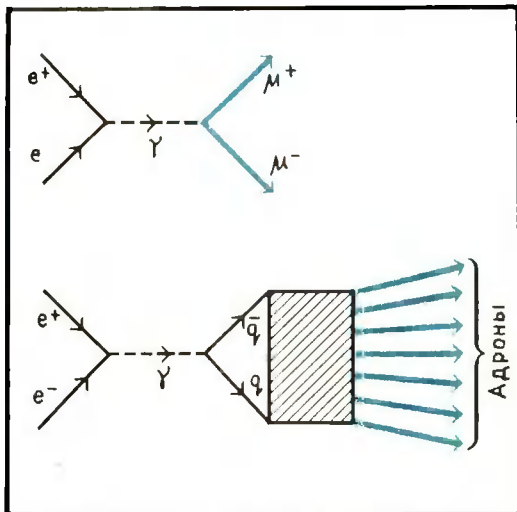
Даже из нескольких приведенных примеров видно, что кварковая модель дает разумное описание большого числа явлений, относящихся к свойствам адронов и их взаимодействиям. Количество примеров такого рода можно было бы значительно увеличить, включив в их число, например, процессы слабого взаимодействия с участием адронов, вопрос о «смешивании» мезонов ω и φ , соотношения между вероятностями образования различных частиц в процессах множественного рождения, столкновения адронов с ядрами и т. д.¹² Предсказания модели практически везде согласуются с данными опыта.

ЦВЕТ

Перейдем теперь к тому, как развивались и менялись представления о кварках. Прежде всего, как отмечалось, кварки приобрели новое свойство — цвет. Подчеркнем еще раз, что названия трех цветов являются чисто условными: цвет — это просто такая характеристика кварка, которая принимает три разных значения. Эти три значения равноправны. Если, например, переставить местами состояния синего и зеленого цвета или как-то «перемешать» их подобно тому, как это делалось с состояниями протона и нейтрона в случае

изотопической инвариантности, то ничто не изменится. Здесь мы встречаемся с новой группой внутренней симметрии сильного взаимодействия — группой $SU(3)$, где три основных цвета — красный, зеленый и синий — формально играют такую же роль, как три вида кварков — u , d и s — в случае уже известной нам группы $SU(3)$ унитарной симметрии.

Между двумя симметриями имеется, однако, очень важное различие. Унитарная симметрия, равно как и изотопическая инвариантность, является приближенной, или,



Диаграммы процессов $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$ (вверху) и $e^+ + e^- \rightarrow$ адроны (внизу). Во втором случае сначала происходит реакция $e^+ + e^- \rightarrow q + \bar{q}$, а затем кварки с вероятностью 100% превращаются в адроны. Поэтому вероятность всего процесса определяется вероятностью рождения кварк-антикварковой пары, которая пропорциональна квадрату электрического заряда кварка.

как говорят, нарушенной. Как уже отмечалось, по причинам, связанным со свойствами слабого взаимодействия, масса странного s -кварка больше, чем масса «нестранных» u и d . Это вводит в теорию зависимость от странности или гиперзаряда, что равнозначно нарушению унитарной симметрии. Аналогичным образом различие масс u - и d -кварков связано с нарушением изотопической инвариантности, т. е. нарушение симметрии однозначно связано с физическим различием кварков.

Симметрия трех цветов, напротив, является строгой, поэтому окрашенные по-разному кварки физически неразличимы.

¹² Эксперименты по проверке кварковой модели обсуждаются более подробно в обзорах Шехтера В. М. в сб.: Элементарные частицы. Четвертая школа физики ИТЭФ. 1976, вып. 1, с. 38; Физика элементарных частиц. Материалы XII зимней школы ЛЯФ. 1977, т. 1, с. 3.

Нет никакой возможности указать эксперимент, который позволил бы отличить, например, красный кварк от синего или зеленого, нет также возможности сказать, окрашен ли данный кварк в один из трех основных цветов или в их неопределенную смесь. В каком-то смысле с этим, очевидно, связан и тот факт, что подобные «хамелеоны» в свободном виде не встречаются.

С другой стороны, в пользу идеи о цвете можно привести не только теоретические, но и экспериментальные доводы. Рассмотрим только один из них, основанный на сравнении процессов превращения (так называемой аннигиляции) электрон-позитронной пары в адроны и в пару мюонов ($\mu^+\mu^-$). Оба процесса происходят путем превращения пары e^+e^- в «виртуальный» фотон, который затем переходит либо в пару $\mu^+\mu^-$, либо в кварк-антикварковую пару $q\bar{q}$, либо в кварк-антикварковую пару $u\bar{u}$, $d\bar{d}$ или $s\bar{s}$. Кварк-антикварковая пара в конце концов обязательно превращается в совокупность каких-то адронов, но это никак не должно влиять на вероятность процесса, которая определяется лишь вероятностью появления самой пары $q\bar{q}$. В свою очередь, различие между процессами типа $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ и $e^+e^- \rightarrow q^+\bar{q}$ состоит только в величине электрического заряда рождающихся частиц (μ -мезона или кварков), определяющей, насколько сильно они взаимодействуют с фотоном. Сечение таких процессов пропорционально квадрату заряда, и потому для их отношения

$$R = \frac{(e^+e^- \rightarrow \text{любые адроны})}{(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$$

должно быть справедливо равенство:

$$R = \sum_q e_q^2,$$

где e_q — заряд кварка q в единицах заряда электрона (или μ -мезона), а суммирование производится по всем сортам кварков. В отсутствие цвета R равнялось бы $e_u^2 + e_d^2 + e_s^2 = 2/3$. Наличие трех цветов увеличивает R втрое, приводя к $R=2$. На опыте найдено, что в области энергий $E \sim (1,5-3)$ ГэВ, действительно, R близко к 2 (здесь E — полная энергия пары e^+e^- в ее системе центра масс). При дальнейшем увеличении энергии значение R растет, но для этого имеются свои основания: рождаются новые кварки.

НОВЫЕ КВАРКИ — c , b , t

До сих пор речь шла о кварках трех сортов — u , d и s . На рубеже 70-х годов появились указания (сперва теоретические) на то, что существует и четвертый кварк c (от англ. charm — очарование) с зарядом $2/3$, как и у кварка u . Дело в том, что в теории с тремя кварками вероятности некоторых процессов слабого взаимодействия с участием адронов оказывались слишком большими. Введение в теорию четвертого кварка позволяло добиться взаимного сокращения нежелательных больших вырежений¹³.

Гипотеза о четвертом кварке поначалу далеко не всеми воспринималась всерьез, однако положение изменилось, когда в конце 1974 г. был обнаружен мезон J/ψ (он был открыт сразу двумя группами экспериментаторов, одна из которых предложила название J , а другая — ψ), оказавшийся связанным состоянием c -кварка и его античастицы $\bar{c}$ ¹⁴. Спустя полтора года были найдены и мезоны, содержащие только один c - или $\bar{c}$ -кварк: $c\bar{u}$, $c\bar{d}$, $c\bar{s}$, $u\bar{c}$, $d\bar{c}$, $s\bar{c}$. Примерно в то же время были открыты очарованные барионы типа $uc\bar{c}$ ¹⁵. В итоге, существование четвертого кварка было установлено с абсолютной достоверностью.

Масса c -кварка оказалась большой — порядка 1500 МэВ. Поэтому энергетический порог рождения в e^+e^- -столкновениях пары адронов, содержащих кварки c и $\bar{c}$, превышает 3700 МэВ. Соответственно при энергиях, выше этого значения, R должно увеличиться на величину $Ze^2 = 4/3$ (с учетом трех цветов c -кварка). Кроме того, возможность рождения пары открытых в 1975 г. тяжелых лептонов $\tau^\pm$ распадающихся на адроны, также должно привести (с учетом экспериментальной эффективности регистрации адронов от распада этих лептонов) к дополнительному увеличению R на величину $\sim (0,5-0,7)$. В итоге мы приходим к $R=4$, которое неплохо согласуется с опытом при $E > 4,5$ ГэВ.

Экспериментальное открытие очарованных адронов явилось серьезным свиде-

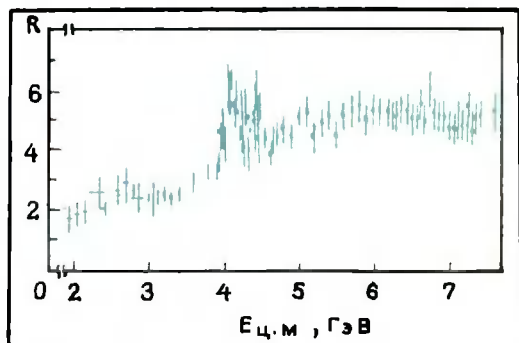
¹³ Glashow S. L., Iliopoulos T., Maiani L. «Phys. Rev.», 1970, v. 2, p. 1285.

¹⁴ См.: Окунь Л. Б. Новые мезоны. — «Природа», 1976, № 8; Кобzareв И. Ю. Лауреаты Нобелевской премии по физике — С. Тинг, Б. Рихтер. — «Природа», 1977, № 1.

¹⁵ Подробнее об очарованных барионах см.: — «Природа», 1976, № 8; с. 28; 1977, № 2, с. 137; 1979, № 1, с. 54; 1979, № 5, с. 9; № 9, с. 106.

тельством в пользу кварковой модели, ибо теория¹⁶, из которой было получено предсказание таких состояний, равно как и их систематика, была целиком основана на представлении о кварках.

С другой стороны, открытие адронов, содержащих s - или $\bar{s}$ -кварк, показало, что связь представления о кварках с теорией унитарной симметрии является чисто исторической. Три «старых» кварка u , d , s отличаются от s -кварка только тем, что они легче. Поэтому очарованные адроны были открыты позднее — они оказались весьма



Зависимость отношения сечений $R = \sigma(e^+e^- \rightarrow \text{адроны}) / \sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)$ от $E_{\text{ц.м.}}$ — полной энергии взаимодействующих частиц в системе их центра масс.

тяжелыми. Как и в случае s -кварка, большая масса s -кварка связана со свойствами не сильного, а слабого взаимодействия. Сильное взаимодействие одинаково для u , d , s и c и потому обладает симметрией $SU(4)$, более высокой, чем унитарная симметрия $SU(3)$. При учете очарованных состояний, содержащих s и $\bar{s}$, унитарные супермультиплеты увеличиваются. Например, октеты мезонов превращаются в семейства из 15 частиц. Все состояния, необходимые для заполнения таких семейств в случае спина 0 или 1, уже найдены, однако во многих отношениях $SU(4)$ -симметрия оказывается очень сильно нарушенной из-за того, что различие масс очарованных и обычных адронов даже внутри одного супермультиплета оказывается весьма большим.

Теория с четырьмя кварками, которые можно разбить на две пары, (u, d) и (c, s) , имеет также то достоинство, что она сходна с теорией лептонов, т. е. частиц, не участвующих в сильном взаимодействии. В течение

длительного времени были известны как раз две пары лептонов: электрон и электронное нейтрино (e, ν_e), мюон и мюонное нейтрино (μ, ν_μ). Симметрия кварков и лептонов привлекательна не только с эстетической точки зрения: в результате довольно сложного анализа выяснилось, что для непротиворечивости теории необходимо, чтобы сумма зарядов всех кварков и лептонов равнялась нулю. Поскольку суммарный заряд лептонной пары равен -1 , а пары кварков $+1/3$, то при наличии трех цветов такое сокращение имеет место, если число сортов кварков равно числу лептонов.

Поэтому, когда была открыта новая третья пара лептонов (ν_τ, τ), где τ — отрицательно заряженная частица, подобная электрону или μ -мезону, но намного тяжелее — с массой 1810 МэВ, а ν_τ — соответствующее ей нейтрино¹⁷, появились основания считать, что существует еще одна пара кварков. Их называли b и t (от англ. bottom — низ и top — верх)¹⁸, причем ожидалось, что подобно u и d или s и $\bar{s}$ электрические заряды t - и b -кварков равны соответственно $2/3$ и $1/3$. В 1977 г. был открыт Y -мезон, представляющий собой связанное состояние $b\bar{b}$ ¹⁹. Частицы, содержащие шестой кварк t , еще не обнаружены, однако большинство специалистов полагает, что такой кварк существует и будет найден в ближайшее время.

Итак, развитие физики элементарных частиц привело к выводу о наличии по меньшей мере пяти, а скорее всего шести сортов кварков: u, d, s, c, b и t (?), каждый из которых может быть окрашен в любой из трех цветов. Таким образом, вместо трех кварков, содержащихся в первоначальной версии модели, мы имеем теперь 15 или 18. Это даже наводит на мысль о существовании объектов, еще более фундаментальных, чем кварки, однако пока для такого утверждения нет ни теоретических, ни экспериментальных оснований.

ГЛЮОНЫ

На этом, однако, история не закончилась. Пришлось допустить, что внутри адронов имеются также объекты совсем иного

¹⁷ Об открытии τ -лептонов см.: — «Природа», 1978, № 2, с. 145; А з и м о в Я. И., Хо з е В. А. Тяжелые кварки и лептоны. — «Природа», 1979, № 5.

¹⁸ В последнее время часто используются названия beauty (красота) и truth (истина).

¹⁹ «Природа», 1979, № 2, с. 105.

¹⁶ См. сноску 13.

рода, не имеющие ни электрического заряда, ни барионного числа. Выяснилось это в опытах по глубоко неупругому рассеянию электронов на протонах, о которых уже говорилось. Процессы глубоко неупругого рассеяния выглядят особенно интересно в такой системе отсчета, в которой начальный протон не покоится, а движется с большой энергией. В этой системе сечение процесса зависит не только от электрического заряда партрона, но и от того, какую он несет долю импульса или энергии начального протона. Оказалось, что три валентных кварка-партона вместе уносят примерно 35% всей энергии, а кварк-антикварковому «мюрю» достается 15%. Остаточную половину энергии приходится приписать каким-то новым объектам, не взаимодействующим ни с электроном, ни с нейтрино. Такие объекты должны быть электрически нейтральными. Было предположено, что именно они ответственны за связывание, или «склеивание», кварков в адроне. Поэтому их называли глюонами (от англ. glue — клей). В современных теоретических построениях глюоны играют важнейшую роль.

В свободном виде глюоны, подобно кваркам, не найдены²⁰. Поэтому естественно думать, что причина невылетаия кварков из адронов не в том, что они обладают дробным зарядом, а в чем-то другом, роднящем их с электрически нейтральными глюонами. Единственным известным свойством такого рода является цвет. Это означает, что глюоны, подобно кваркам, окрашены и что цветные объекты не могут существовать в свободном виде.

В той мере, в какой глюоны склеивают кварки, осуществляя взаимодействие между ними, обмен глюонами приводит к обмену цветом. При этом легко видеть, что глюон должен нести не один, а сразу два цвета. Например, чтобы «перекрасить» синий кварк в зеленый, глюон должен принести «антисиний» цвет для компенсации старой окраски и новый — зеленый. Три цвета и три «антицвета» можно скомбинировать девятью различными способами, однако одна из таких комбинаций (сумма каждого цвета с его антицветом) оказывается бесцветной и потому выделенной. Отвечающая ей бесцветная частица могла бы

наблюдаться как мезон, взаимодействующий с барионным числом адрона, подобно тому как фотон взаимодействует с его электрическим зарядом. На опыте такой мезон не найден, и мы имеем восемь двухцветных глюонов.

Теория, в которой сильное взаимодействие кварков и глюонов связано с наличием цвета, получила название квантовой хромодинамики (по аналогии с квантовой электродинамикой). При этом цвет играет роль заряда, откуда и название взаимодействия — хромодинамическое, т. е. цветное. Основными объектами хромодинамики являются восемь глюонов, одинаково взаимодействующих с кварками любого сорта.

С точки зрения квантовой хромодинамики, можно сказать, что адрон подобен атому: аналогично кулоновским фотонам, которые связывают положительно заряженное ядро и отрицательно заряженные электроны в нейтральный атом, глюоны, переносящие цветное взаимодействие, связывают сложную кварк-глюонную систему в бесцветный адрон. Далее вне атома действуют «остатки» электрических сил — так называемые силы Ван дер Ваальса, которые соединяют набор атомов в молекулу или макроскопическое тело. Аналогичным образом остатки цветного взаимодействия ответственны за сильное взаимодействие бесцветных адронов, в частности за ядерные силы, удерживающие протоны и нейтроны в атомном ядре.

«НЕВЫЛЕТЕНИЕ» КВАРКОВ ИЗ АДРОНОВ

Обратимся, наконец, к вопросу о «невылетании» свободных кварков и глюонов, ставшему одной из центральных проблем современной физики. В последнее время теоретики склонны думать, что за это явление ответственна специфика квантовой хромодинамики. В основе этого взгляда и надежд на его подтверждение в будущем лежат следующие рассуждения.

Особую структуру хромодинамики можно понять, сравнивая ее с электродинамикой. Переносчиками электромагнитного взаимодействия являются кванты света — фотоны. Они испускаются и поглощаются заряженными частицами, но сами по себе заряда не несут, т. е. электрически нейтральны. В отличие от них, переносчики цветного взаимодействия — глюоны не только испускаются и поглощаются окрашенными кварками, но и сами по себе окрашены. В результате может происходить ис-

²⁰ Недавно появилось сообщение о новых экспериментальных данных по электрон-позитронной аннигиляции, полученных на ускорителе ПЕТРА в ФРГ. Их можно трактовать как открытие глюона. См. в этом номере: Долгов А. Д. Открытие глюона, с. 105.

пускание и поглощение глюонов самими же глюонами.

Это приводит к драматическому изменению эффективного цветового взаимодействия между кварками. Если электрическая сила кулоновского притяжения между двумя разноименно заряженными частицами убывает с расстоянием между ними как $1/r^2$, то аналогичная цветовая сила модифицируется глюон-глюонными превращениями настолько, что убывает с расстоянием намного медленнее или даже остается постоянной. При этом работа, которую необходимо затратить, чтобы развести кварки на большой пространственный интервал, равная произведению силы на расстояние, неограниченно возрастает с этим интервалом. В результате энергия системы увеличивается и рано или поздно становится достаточной для рождения новых кварк-антикварковых пар, из-за чего исходная система кварков превращается в совокупность вторичных адронов.

Проиллюстрируем сказанное на примере столкновения фотона высокой энергии с протоном. Как уже отмечалось, фотон взаимодействует с одним из кварков протона, q_1 , передает ему свой импульс и отделяет его от двух других, q_2 и q_3 . Если, однако, увеличивать энергию начального фотона, то вместо развала протона на кварк q_1 и «дикварк» q_2q_3 произойдет рождение новой пары $q\bar{q}$, причем антикварк $\bar{q}$ соединится с q_1 в мезон $M=q_1\bar{q}$, а кварк q вместе с q_2 и q_3 образует барион $B=q_2q_3q$. В результате «струна», стягивающая цветные объекты q_1 и q_2q_3 , рвется и происходит наблюдаемый на опыте процесс $\gamma + p \rightarrow M + B$. Вторичные адроны M и B бесцветны и потому беспрепятственно разлетаются в разные стороны. Выделить свободный кварк оказывается невозможным.

С другой стороны, глюон-глюонные превращения ведут к тому, что при уменьшении расстояния между кварками сила их цветового взаимодействия не растет, оставаясь сравнительно слабой. Принято поэтому говорить, что, когда внутри адрона кварки находятся на малых расстояниях друг относительно друга, они «асимптотически свободны». С этим и связан успех представления о почти независимых, «аддитивных» кварках в адроне.

Описанная картина невылетания кварков из адронов в значительной мере является качественной, отнюдь не представляя вывода строгой теории. Дело здесь в том, что проблема невылетания связана с вопросом о цветовом взаимодействии на боль-

ших расстояниях, где оно является по-настоящему сильным и не поддается количественному исследованию. Что же касается свойства асимптотической свободы на малых расстояниях в теориях типа квантовой хромодинамики с заряженными переносчиками взаимодействия, то оно доказано строго: на таких расстояниях взаимодействие ослабляется, и можно использовать теорию возмущений.

СОВРЕМЕННЫЙ СТАТУС МОДЕЛИ КВАРКОВ

Открытие кварков означает новый этап атомистики. Связано это не только с тем, что кварки представляют собой более фундаментальные объекты, чем построенные из них адроны, но и с качественно новым свойством таких объектов — отсутствием их в свободном виде.

С точки зрения обычного подхода к субатомным частицам, ненаблюдаемость кварков можно было бы интерпретировать как довод, позволяющий сомневаться в их существовании вообще, однако множество экспериментальных фактов, подтверждающих предсказания кварковой модели, пришлось бы в таком случае объявить случайными, не считаясь с тем, что число случайных совпадений оказалось бы весьма большим и растущим со временем. Поэтому гипотеза о существовании кварков является практически общепринятой.

Представление о кварках лежит в основе большинства современных теоретических построений в физике адронов, целью которых является описание сильно-взаимодействующих частиц, их свойств и взаимодействий. Центральным направлением теоретической физики в последнее время становится развитие квантовой хромодинамики. Можно с уверенностью ожидать, что и ближайшие годы принесут новые открытия, касающиеся кварков и их свойств.

Полярные льды: следствие или причина изменения климата?

В. Ф. Захаров



Виктор Федорович Захаров, кандидат географических наук, заведующий отделом ледовых прогнозов Арктического и Антарктического научно-исследовательского института Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. В последние годы занимается вопросами влияния морских льдов на климат Земли.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОРСКИХ ЛЬДОВ

С тех пор как стало известно, что климат нашей планеты претерпевает систематические изменения, внимание многих специалистов, в том числе полярных океанологов, было приковано к изучению этих изменений. В первой половине нашего столетия происходило потепление, вызвавшее глубокие перемены в состоянии природной среды, особенно заметные в областях распространения природных льдов. В ряде районов исчезла вечная мерзлота. Отступили ледники Северной Америки, Европы, Гренландии и многих арктических островов. Сократилась площадь ледяного покрова и его толщина в Северном Ледовитом океане. Изменились даты вскрытия и замерзания прибрежных районов. Улучшились условия плавания судов по Северному морскому пути. Предполагали, что потепление будет продолжаться и в дальнейшем.

Однако уже в середине 1940-х годов температура воздуха стала понижаться сначала в северо-западной Гренландии, затем в центральной Арктике, районе Канадского Арктического архипелага и в окраинных арктических морях. В пределах Советской Арктики она сильнее всего понизилась в Карском море; ее среднее го-

довое значение в 1961—1965 гг. оказалось почти на 3° ниже, чем в 1941—1945 гг. Увеличилась площадь ледяного покрова и его толщина. Льды стали обычным явлением там, где раньше их вовсе не было или где они появлялись эпизодически. Сместилась к югу граница тяжелых паковых льдов, которые стали чаще встречаться на судоходных трассах, затрудняя мореплавание. Морские льды подступили к берегам Исландии, блокировали ее северное побережье, затрудняя плавание и рыбный промысел в прибрежных водах. Заговорили о скором наступлении нового ледникового периода. Но в конце 1960-х годов похолодание прекратилось. Температура воздуха стала расти, а площадь льдов — сокращаться.

Приведенные примеры указывают на существование довольно тесной связи между термическими условиями в атмосфере и развитием морских льдов. Кажется очевидным и характер этой связи: площадь льдов изменяется постольку, поскольку изменяется температура воздуха. Между тем данные, полученные в последние годы, наводят на мысль, что морские льды сами могут быть причиной изменения климата.

Морские льды занимают в среднем за год $23,74$ млн км^2 (6,6% площади Мирового океана). Из них $12,65$ млн км^2 при-

ходится на Северное полушарие и 11,09 млн км² — на Южное. Особенности внутригодовых изменений площадей, занятых морскими льдами, в каждом из полушарий и в Мировом океане в целом характеризуют данные, приведенные в таблице. Они свидетельствуют, помимо всего прочего, о значительно большей устойчивости льдов Северного полушария к сезонным изменениям солнечной радиации по сравнению с льдами в Южном полушарии.

Обращают на себя внимание существенные различия в распространении льдов в Северном и Южном полушариях.

В Южном полушарии морские льды концентрируются у антарктического континента, целиком опоясывая его. Их внешняя граница в любое время года ориентирована в основном в широтном направлении.

В Северном полушарии ледяной покров имеет значительную меридиональную протяженность. В холодную половину года в ряде районов он распространяется за пределы Северного Ледовитого океана. В Атлантике морские льды встречаются вплоть до 46° с. ш. (район о. Ньюфаундленд и зал. Св. Лаврентия), а в Тихом океане — еще южнее, до 43° с. ш. Вдоль азиатского побережья бухты и заливы замерзают почти до 37° с. ш. В то же время на большей части Северо-Европейского бассейна морских льдов нет. По меридиану 5° в. д. в самый разгар зимы можно достичь на корабле 80-й параллели, не встретив на пути ни одной льдины.

Причину этого поразительного явления принято связывать с характером океанической циркуляции. И в Атлантическом и в Тихом океанах морские льды дальше всего распространяются к югу вдоль восточных берегов азиатского и североамериканского континентов, побережья которых подвержены воздействию холодных морских течений. Течения несут льды с севера и создают сильную асимметрию в их распределении между западными и восточными частями Атлантического и Тихого океанов.

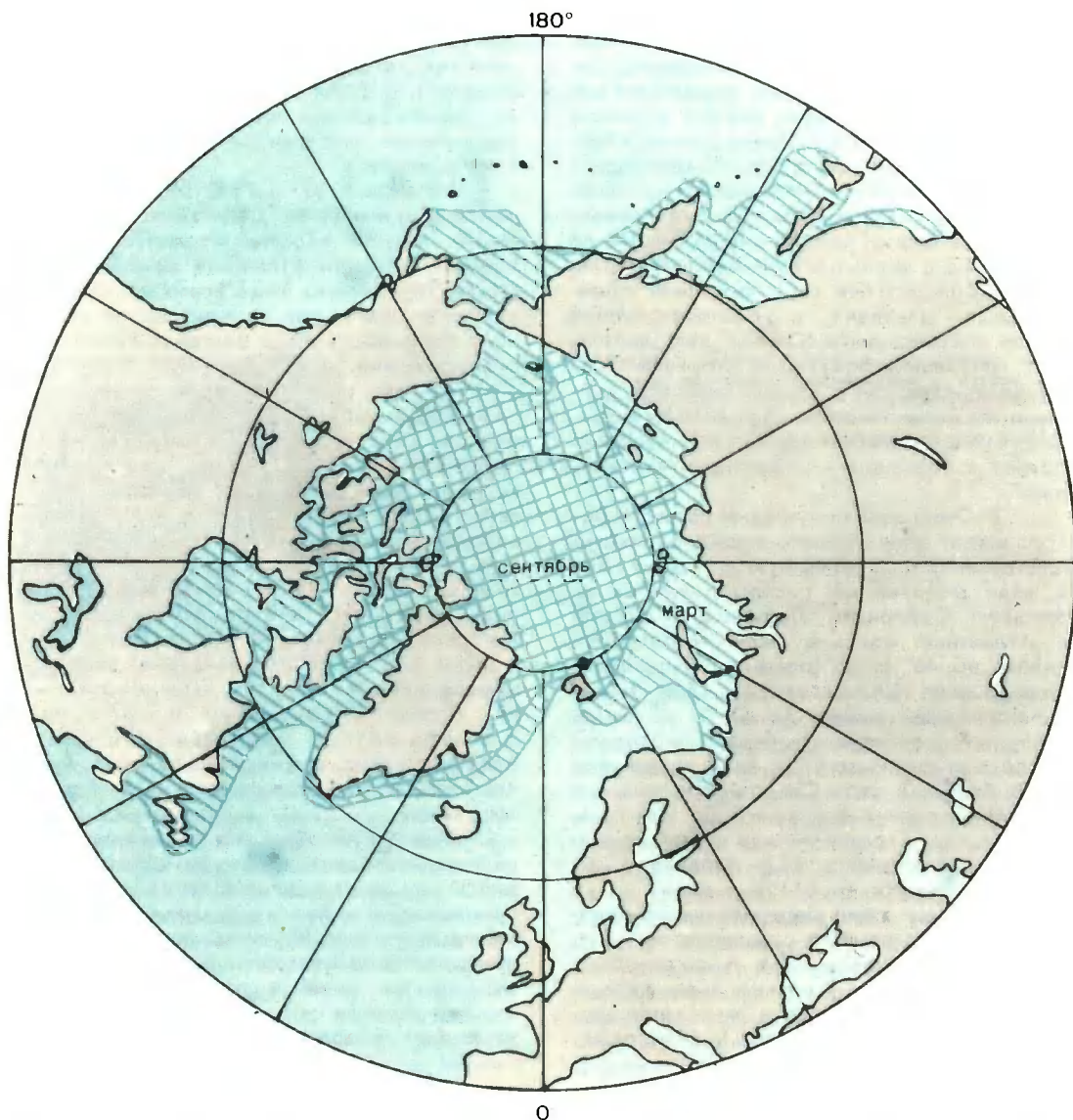
На первый взгляд это объяснение кажется убедительным. Действительно, положение южной кромки морских льдов в Северо-Западной Атлантике зимой можно объяснить, как это чаще всего и делается, поступлением льдов из Арктики по системам Лабрадорского и Восточно-Гренландского течений.

Но вот что странно: морские льды Северо-Западной Атлантики — это в основном льды местного образования, а не приносные. Несомненно на месте образуются и льды Охотского, Берингова, Японского морей. В таком случае закономерен вопрос, почему в одних районах (например, в районе о. Ньюфаундленд в Атлантическом океане) в холодное время года льды образуются, а в других районах даже с более суровым климатом (например, в водах Западного Шпицбергена) этого не происходит. Между тем Шпицберген на 33° ближе к Северному полюсу, чем о. Ньюфаундленд. Зимой льды покрывают Азовское море и северо-западную часть Черного, но их нет в южной части Баренцева моря...

Редко кто обращает внимание еще на одну особенность внутригодового развития арктического морского ледяного покрова. Как видно из приведенной внизу таблицы, сезонный минимум его площади приходится на сентябрь. В конце сентября — начале октября фронт образования льда смещается из зоны остаточных льдов на открытую воду. С этого времени идет

Средние многолетние площади льда в мировом океане, млн. км²

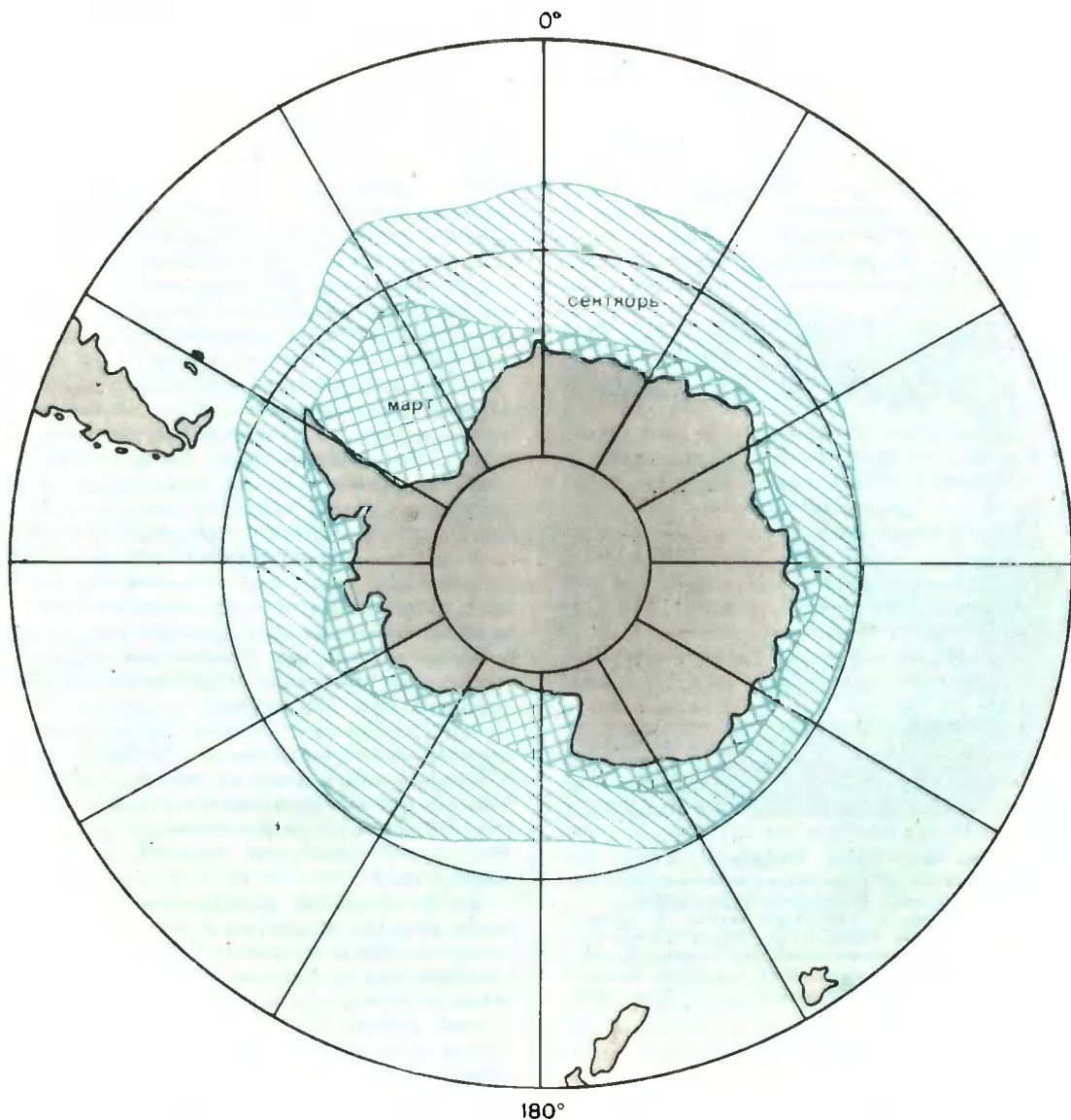
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Среднее за год
Северный Ледовитый океан	12,16	12,31	12,28	12,26	12,06	11,52	10,43	8,58	7,92	9,92	11,67	11,93	11,08
Северное полушарие	14,87	15,91	16,11	15,49	13,90	12,45	10,94	8,78	7,95	9,99	12,11	13,30	12,65
Южное полушарие	6,77	4,28	2,62	6,44	9,18	11,01	13,93	15,66	18,82	17,75	15,24	11,44	11,09
Мировой океан в целом	21,64	20,19	18,73	21,93	23,08	23,46	24,87	24,44	26,77	27,74	27,35	24,74	23,74



Распространение морских льдов в Северном и Южном полушариях в моменты их наибольшего и наименьшего распространения в течение года.

непрерывное увеличение площади ледяного покрова. Однако в Северном Ледовитом океане ледяной покров увеличивается в основном только в течение первых трех месяцев — октября, ноября и декабря. В последующие четыре месяца площадь льдов почти не меняется.

Частично это можно объяснить тем, что в большинстве районов ледяной покров достигает своих естественных границ — берегов. Нельзя, однако, забывать, что даже в это время в Северном Ледовитом океане сохраняются пространства чистой воды общей площадью около 2,3 млн км². Это — Норвежское, частично Гренландское и Баренцево моря. Распространение ледяного покрова в направлении этих морей не ограничено никакими видимыми препятствиями, тем не менее лед здесь не образуется.



Чтобы ближе познакомиться с явлением торможения в развитии ледяного покрова, нет необходимости рассматривать его во всем океане; достаточно ограничиться районом, где оно ярче всего выражено. Таким районом является Северо-Европейский бассейн, который с одной стороны граничит с Арктическим бассейном, а с другой — с Атлантикой. Морские льды располагаются в северной части этого района и в холодное время года могут свободно, без каких-либо ограничений распространяться в южном направлении, к

широкому проливу между Гренландией и Скандинавией.

Однако и здесь ледяной покров интенсивно разрастается в первой половине зимы, а в дальнейшем, несмотря на продолжающееся понижение температуры воздуха, остается постоянным. Но если это так, то вправе ли мы считать, что потепление Арктики в начале нашего века и последующее ее похолодание в 40-х годах послужили причиной изменения площади полярных льдов? Не были ли сами эти колебания вызваны изменениями пло-

щади арктического морского ледяного покрова? Словом, не могли ли полярные льды быть причиной, а не следствием изменения климата?

Полярные льды — один из элементов подстилающей поверхности, являющейся важнейшим климатообразующим фактором. Так как фазовые переходы воды сопровождаются резким изменением отражательной способности поверхности — альбедо (от 0,1 до 0,8), то изменение площади этих льдов должно существенно ска-

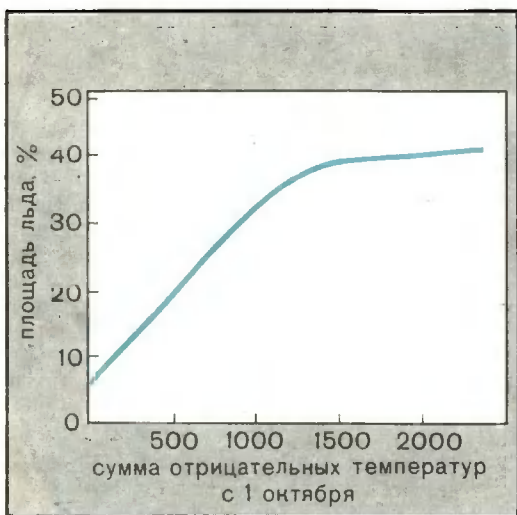


Диаграмма связи между площадью ледяного покрова и суммой отрицательных температур в Северо-Европейском бассейне (Гренландское, Норвежское, Белое и Баренцево моря). В течение первой половины зимы, когда сумма отрицательных температур не превышает 1000, площадь льда увеличивается; в дальнейшем, несмотря на рост суммы отрицательных температур, площадь льдов остается постоянной.

зываться на термическом режиме атмосферы. Таким образом, если бы в природе существовал механизм, регулирующий развитие арктического ледяного покрова, можно было бы объяснить важнейшие климатические колебания XX в. изменениями площади полярных льдов. Такой механизм имеется. Исследования показали, что образование морских льдов, их устойчивость и распространение регулируются существованием на поверхности океана опресненного слоя.

РОЛЬ ОПРЕСНЕННОГО СЛОЯ В ОБРАЗОВАНИИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Существование верхнего опресненного слоя (так называемые поверхностные арктические воды) — важная особенность строения водной толщи Северного Ледовитого океана. По своим физико-химическим характеристикам (пониженной солености и температуре, близкой к точке замерзания) они заметно отличаются от подстилающих их вод атлантического происхождения, обладающих положительной температурой и соленостью, превышающей $34^{\circ}/_{00}$.

Взаимодействуя друг с другом, поверхностные арктические и глубинные атлантические воды формируют переходный слой — пикноклин, в котором плотность быстро возрастает с глубиной. Так как вертикальный обмен в море уменьшается с увеличением градиента плотности, то пикноклин служит своего рода заслонкой, экраном для потока тепла, идущего от атлантических вод к поверхности океана. По имеющимся данным лишь небольшое количество этого тепла переносится через пикноклин и достигает поверхности.

В полярных районах вертикальное распределение плотности в основном обусловлено изменением солености, поэтому в дальнейшем целесообразно говорить об экранирующих свойствах не пикноклина, а галоклина, т. е. слоя скачка солености.

Известно, что образование льда становится возможным лишь при условии, что отток тепла в атмосферу с поверхности водоема превышает его поступление к ней из глубинных слоев. Образующийся в этом случае дефицит тепла компенсируется теплотой кристаллизации при переходе воды из жидкого состояния в твердое. Отсюда ясна та чрезвычайно важная роль, которую играют условия, регулирующие передачу тепла к водной поверхности снизу.

Основным механизмом, обеспечивающим перенос тепла к поверхности водоема в осенне-зимний период, является вертикальное перемешивание воды (конвекция). Она возникает в результате гидростатической неустойчивости при увеличении плотности вод поверхностного слоя в процессе его охлаждения или осолонения. При этом морские воды, в отличие от пресных и солоноватых, обладают одним важным свойством: температура их наибольшей плотности лежит ниже точки

замерзания. Это означает, что в условиях, близких к гомохалянным, т. е. когда изменения солёности по вертикали незначительны, образование льда становится возможным лишь после того, как вся толща вод — от поверхности до дна — охладится до точки замерзания. В глубоком море, где содержание тепла в водной толще, вследствие непрерывно совершающегося горизонтального обмена, всегда достаточно велико (даже в районе Северного полюса оно превышает 500 ккал/см^2), образование льда происходить не должно. Небольшого охлаждения поверхностного слоя оказывается достаточно, чтобы вовлечь в конвекцию всю водную толщу и обеспечить вынос на поверхность такого количества тепла, которое полностью компенсирует отток тепла в атмосферу.

Итак, если бы в Мировом океане наблюдались условия гомохалянности, морские льды не смогли бы образоваться в районах его больших глубин, в том числе в Арктическом бассейне, который занимает глубоководную часть Северного Ледовитого океана. Лишь в мелководных прибрежных районах, где общее содержание тепла в водной толще невелико, условия благоприятствовали бы образованию льдов.

Однако плотность морской воды — функция не одной только температуры, но и солёности. Поскольку последняя, как правило, увеличивается с глубиной, в реальных условиях конвекция чаще всего не распространяется на всю водную толщу, а ограничивается лишь ее верхним слоем. Причем в полярных районах толщина этого слоя находится в тесной зависимости от особенностей вертикального распределения солёности. В местах, где вертикальные градиенты солёности значительны, конвекция охватывает лишь верхние несколько десятков метров. В этом случае количество тепла, отданное в атмосферу в период осенне-зимнего выхолаживания, будет ограничено содержанием тепла в перемешанном слое и может оказаться недостаточным, чтобы предотвратить образование льда.

По имеющимся данным, лишь небольшое количество тепла, идущего от атлантических вод к поверхности океана (в большинстве районов Арктического бассейна оно не превышает $1\text{--}2 \text{ ккал/см}^2$ в год), переносится через галоклин и достигает поверхности. Этого количества тепла, конечно, недостаточно, чтобы компенсировать его отток с поверхности в атмосферу и, таким образом, предотвратить

образование льда. Следовательно, галоклин — необходимое условие образования морских льдов в глубоком море.

И действительно, в каком бы месте Северного Ледовитого океана — у полюса, у берегов Азии или Северной Америки, к востоку от Гренландии или Лабрадора — мы ни изучали особенности вертикального распределения солёности, повсюду наблюдается одна и та же картина: там, где поверхностный слой опреснен и подстилается галоклином, есть и морские льды. Там же, где опресненный слой отсутствует, льды в океане не образуются. Это означает, что ледяной покров органически связан с поверхностными арктическими водами, что он, образно говоря, есть «зримый след» этих вод на поверхности Северного Ледовитого океана. Кромка морских льдов географически соответствует гидрофронт, формирующемуся на стыке опресненных арктических и высокосолёных атлантических вод, а на глубине — внешней границе галоклина. За пределами галоклина, как показал советский океанолог Н. П. Булгаков, происходит резкое усиление потока тепла из глубин океана к его поверхности и стабилизация кромки плавающих льдов.

Таким образом, становится ясной природа торможения в развитии ледяного покрова Северного Ледовитого океана. К середине зимы этот покров успевает распространиться на всю область галоклина, препятствующего переносу тепла к поверхности и тем самым обеспечивающего необходимые предпосылки для ледообразования. За пределами этой области поток тепла из глубинных слоев к поверхности полностью компенсирует отток тепла в атмосферу. Вот почему достижение кромкой льда внешних границ галоклина кладет предел ее дальнейшему смещению в сторону открытой воды в самый разгар зимы.

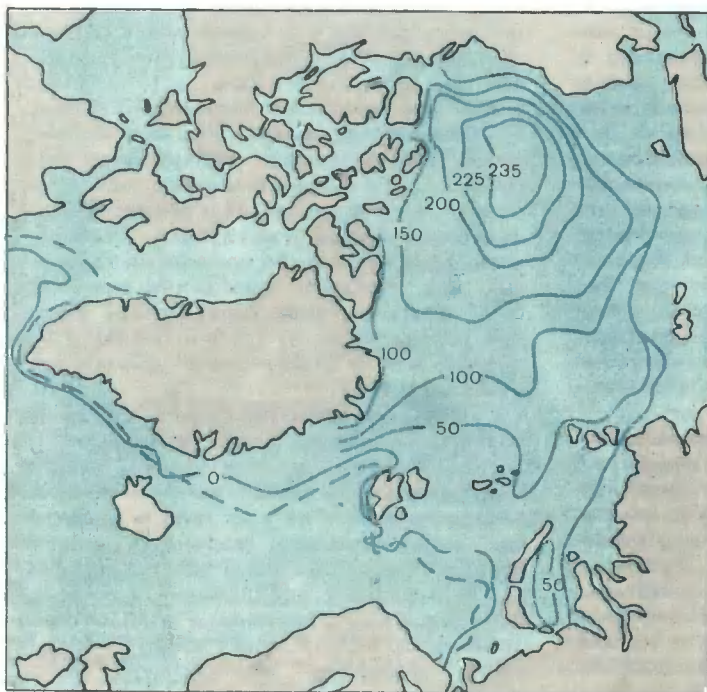
Развитие галоклина в пространстве определяет также наиболее существенные особенности распространения морских льдов в Северном полушарии, о которых мы говорили ранее. Речь идет, в частности, об образовании льдов в районах Северо-Западной Атлантики, прилежащих к североамериканскому континенту, а также в дальневосточных морях: Беринговом, Охотском и частично Японском. В Балтийском, Азовском, Черном и некоторых других морях ледяной покров образуется на акваториях, где поверхностный слой, вследствие опреснения, устойчиво стратифицирован и имеет небольшую толщину.

УСТОЙЧИВЫ ЛИ ПОЛЯРНЫЕ ЛЬДЫ?

С особенностями строения верхнего слоя океана связано не только образование и распространение ледяного покрова, но и его устойчивость. Вопрос о том, что произойдет с этим покровом, если температура воздуха повысится, скажем, из-за парникового эффекта CO_2 или понизится на несколько градусов из-за увеличения концентрации аэрозоля в атмосфере, давно волнует научную общественность. Инте-

к внешним воздействиям означало бы признание стабильности (конечно, в известных пределах и в известных масштабах времени) климатических и вообще природных условий.

Следует признать, что вопрос об устойчивости арктических льдов не может быть удовлетворительно решен без учета особенностей вертикального строения водной толщи, в частности, без учета экранирующей роли верхнего опресненного слоя океана. На важность этого учета впервые



Изолинии толщины поверхностных опресненных вод в Северном Ледовитом океане (м) и граница максимального в течение года распространения морских льдов (пунктир). Поверхностные опресненные воды напоминают гигантскую линзу, центр которой смещен в сторону североамериканского континента, а края выходят местами за пределы Северного Ледовитого океана. Значительное увеличение толщины этих вод у берегов Северной Америки и восточной Азии связано с существованием здесь антициклонического круговорота вод, вызывающего нагон опресненных вод к центру и их опускание вдоль оси круговорота.

рес этот вызван тем, что речь идет не просто о судьбе полярных льдов (хотя это важно и само по себе), а об устойчивости современного климатического режима. Несомненно, что исчезновение льдов или, напротив, их разрастание до размеров, характерных для ледниковых эпох плейстоцена, сопровождалось бы огромными изменениями этого режима не только в Северной полярной области, но и в масштабе всего земного шара. Таким образом, признание концепции неустойчивости полярных льдов означало бы, вообще говоря, признание постоянной угрозы неотвратимых и быстрых перемен в состоянии природной среды. И наоборот, признание концепции устойчивости полярных льдов

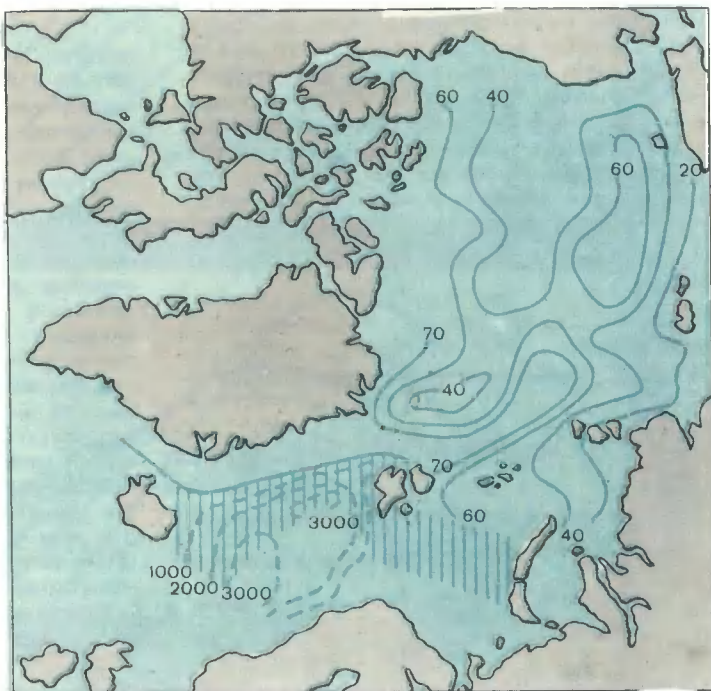
обратил внимание полярный океанолог Ю. П. Доронин, по мнению которого, если однажды ледяной покров Северного Ледовитого океана растает, но сохранится существующая ныне вертикальная структура его вод, неизбежно восстановление ледяного покрова.

В сезонном теплообмене Северного Ледовитого океана с атмосферой может принимать участие лишь его верхний слой толщиной в среднем около 50 м и который составляет лишь 1,7% от мощности всей водной толщи Арктического бассейна. Учитывая почти полную непроницаемость этого слоя для потоков тепла снизу, мы вправе считать, что имеем дело с очень мелким морем.

Для оценки сезонного прогрева и охлаждения такого моря было использовано уравнение теплового баланса. Исходными данными для его решения послужили средние многолетние значения метеорологических элементов в районе о-ва Медвежьего, расположенного на западной окраине баренцевоморской материковой отмели, вблизи стрежня теплого Шпицбергенского течения. Надо сказать, что приравнивание условий, характерных сегодня для о-ва Медвежьего, к условиям

уничтожения ледяного покрова толщина деятельного слоя увеличится вдвое против современной и достигнет 100 м, то и тогда ледообразование окажется неизбежным. Если же эта толщина сохранится, то лед восстановится уже к середине января. Вообще восстановление ледяного покрова в океане будет происходить в соответствии с распределением толщины деятельного слоя. Раньше всего ледяной покров восстановится в окраинной зоне, а к концу зимы охватит весь Арктический бассейн.

Изолинии толщины верхнего слоя, участвующего в энергообмене с атмосферой в Северном Ледовитом океане [м]. За пределами области, занятой льдами, эта толщина быстро увеличивается. Пунктирными линиями показана расчетная толщина слоя моря [м], который принял бы участие в теплообмене с атмосферой, если бы в данном районе образовался лед. Чтобы на свободных от льда водных пространствах Северо-Европейского бассейна образовался лед, необходимо, чтобы вся толщина вод от поверхности до дна охлаждалась до точки замерзания. Это означает, что в Гренландском море толщина слоя, участвующего в энергообмене с атмосферой, местами достигала бы 3000 м и более. Заштрихованы районы резкого увеличения слоя моря, участвующего в энергообмене с атмосферой.

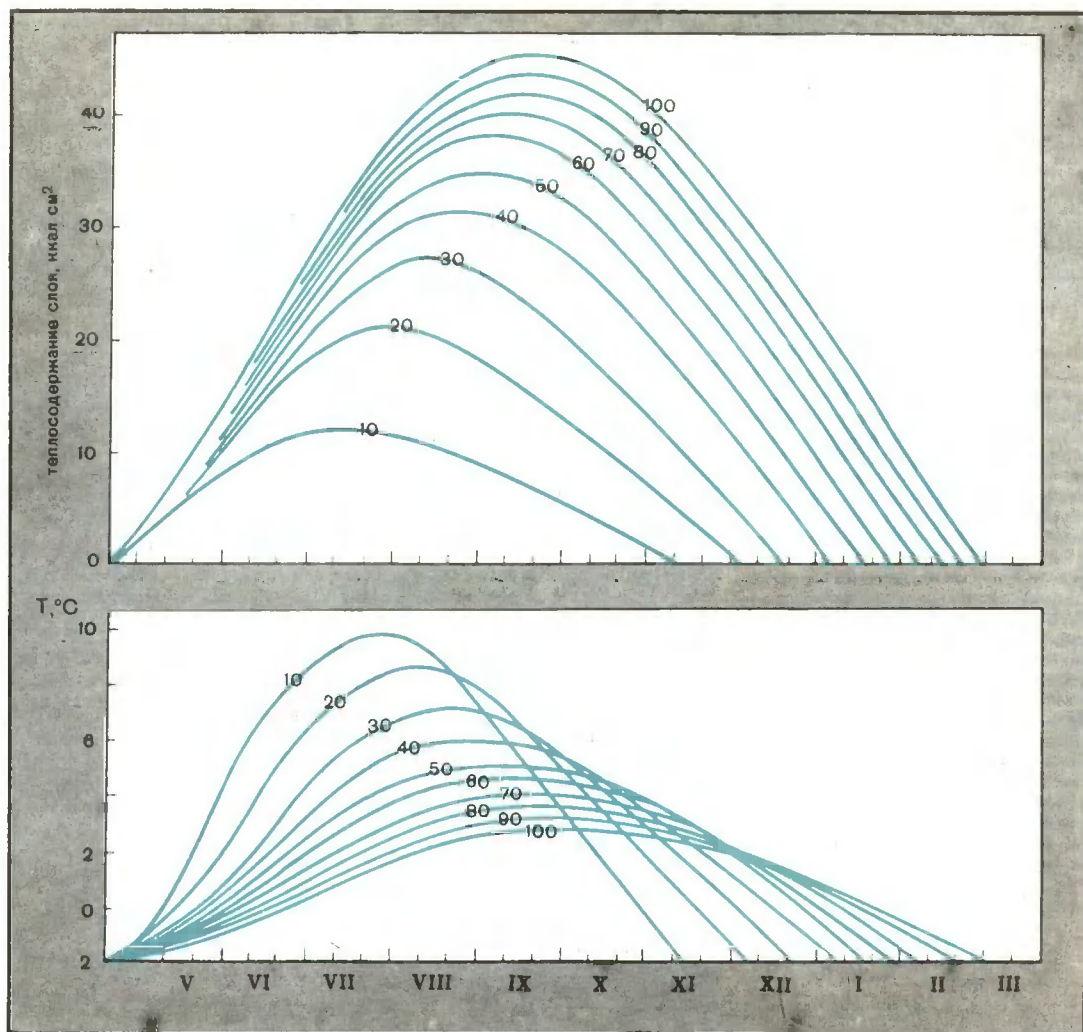


безледного Северного Ледовитого океана равносильно повышению средней годовой температуры от $-19,7$ до $-2,0^{\circ}\text{C}$. На основе этих данных и выполнялись расчеты теплосодержания в деятельном слое. Причем в связи с тем, что толщина этого слоя изменяется от места к месту, расчеты проводились для слоев толщиной от 10 до 100 м через каждые 10 м.

Сроки появления льда в океане сильно зависят от толщины слоя, участвующего в энергообмене с атмосферой. На нашем рисунке этим срокам соответствуют пересечения кривых теплосодержания с осью абсцисс. Причем особенно важно то, что все без исключения кривые пересекают эту ось. Это означает, что если после

Таким образом, при сохранении современной структуры вод поверхностного слоя Северного Ледовитого океана уничтоженные однажды полярные льды к концу первой же зимы восстановятся почти в прежних своих размерах. Лишь изменив эту структуру, т. е. удалив опресненный слой и тем самым обеспечив поток тепла из глубин океана к его поверхности, можно создать условия, препятствующие восстановлению ледяного покрова.

Так как климатические условия на нашей планете тесно связаны с морскими ледяными покровами, а последние, как видим, крайне консервативны к внешним воздействиям, то имеются основания говорить об устойчивости современного кли-



Зависимость теплосодержания (вверху) и температуры (внизу) верхнего слоя океана в районе о-ва Медвежьего (74°31' с. ш., 19°01' в. д.) от его толщины. Расчеты выполнены для случая, когда поток тепла из глубинных слоев и поверхности отсутствует, а аккумуляция тепла и его последующая потеря верхним слоем происходит исключительно в процессе его теплообмена с атмосферой. Рисунок демонстрирует сильную зависимость аккумуляционной способности океана от толщины слоя, участвующего в энергообмене. Значения этой толщины на рисунке проставлены у соответствующих кривых.

матического режима, о его неспособности к коренным изменениям в течение коротких отрезков времени. Это означает, что некоторое изменение температуры воздуха вследствие парникового эффекта CO_2 или роста концентрации аэрозоля в атмосфере не должно приводить к кардинальной перестройке природных условий, если не будет нарушен баланс пресных вод в Северном Ледовитом океане.

ПОЛЯРНЫЕ ЛЬДЫ КАК ФАКТОР ИЗМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

Современные термические условия в атмосфере не являются препятствием для распространения ледяного покрова на

районы Северо-Европейского бассейна. Это подтверждается и тем, что изотерма -2°C , соответствующая точке замерзания морской воды, зимой повсюду располагается южнее границы морских льдов. Так, например, февральская изотерма -2°C в приводном слое атмосферы на нулевом меридиане располагается южнее кромки льдов почти на десять градусов широты. И хотя в других районах Северо-Европейского бассейна это расстояние примерно вдвое меньше, несомненно, что главным препятствием для образования льда здесь является не температура в атмосфере, а сам океан.

В связи с этим большой интерес представляет вывод английского климатолога Ч. Брукса о возможности саморазвития арктического морского ледяного покрова. Согласно его расчетам, после того, как размеры этого покрова достигнут некоторой критической величины, всякое дальнейшее приращение его площади должно сопровождаться таким понижением температуры в атмосфере, которое обеспечивает его дальнейшее развитие. Это развитие, выражающееся в смещении кромки морских льдов по направлению к экватору, должно продолжаться до тех пор, пока падение температуры за счет охлаждающего эффекта ледяного покрова не сбалансируется ее повышением, обусловленным приближением к экватору.

Следует, однако, иметь в виду, что этот вывод Ч. Брукса основан на том, что развитие морского ледяного покрова определяется исключительно только климатическими условиями. Он несомненно справедлив для мелкого моря, в котором содержание тепла в водной толще невелико и поэтому не может служить серьезным препятствием для образования льдов в зимнее время. В глубоком же море само по себе понижение температуры воздуха ниже точки замерзания воды, как уже отмечалось, не может еще привести к образованию льда. Необходимым условием является также наличие галоклина, который ограничивал бы конвекцию сравнительно тонким поверхностным слоем и, таким образом, создавал бы условия, характерные для мелкого моря. Поэтому, не меняя, в общем, существа вывода Ч. Брукса, целесообразно представить его в несколько измененной формулировке: по достижении некоторых размеров ледяной покров создает вокруг себя в атмосфере такие термические условия, которые уже не могут служить препятствием для его дальнейшего развития.

Так как единственным препятствием

для образования льда в тех районах Северо-Европейского бассейна, где температура зимой опускается ниже точки замерзания, является поток тепла из воды, то, «отключив» этот поток или резко его ослабив, можно добиться образования льда.

Таким образом, изменение площади льдов не обязательно должно предваряться соответствующими изменениями климата. Они могут быть следствием перестройки термохалинной структуры верхнего слоя океана, иначе говоря, следствием опреснения поверхностного слоя. Чтобы лед образовался и заполнил все Баренцево и Гренландское моря, вовсе не нужно понижать и без того низкие зимние температуры воздуха над этими районами. Достаточно распространить на эти моря опресненные поверхностные арктические воды, и ледообразование здесь станет неизбежным. Это означает, что колебания термических условий в земной атмосфере могут быть не причиной, а следствием изменения площади полярных льдов.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Будыко М. И. ПОЛЯРНЫЕ ЛЬДЫ И КЛИМАТ. Л., 1969.
- Будыко М. И. ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА. Л., 1974.
- Булгаков Н. П. КОНВЕКЦИЯ В ОКЕАНЕ. М., 1975.
- Зубов Н. Н. ЛЬДЫ АРКТИКИ. М., 1944.
- Зубов Н. Н. В ЦЕНТРЕ АРКТИКИ. М.—Л., 1948.
- Монин А. С., Шишков Ю. А. ИСТОРИЯ КЛИМАТА. Л., 1979.

П о п р а в к а

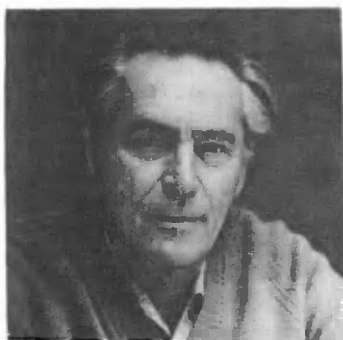
В № 11 журнала (1979 г.) в статье С. В. Мейена «Предки высших растений» подпись к рис. 2 (стр. 43) следует читать:

«Расположение на побеге и облик спорангиев у разных раннедевонских проптеридофитов: а — *Cooksonia*, б — *Renalia*, в — *Sawdonia*, г — *Zosterophyllum*, д — *Gosslingia*».



Волк в заповедниках СССР

Д. И. Бибилов, К. П. Филонов



Дмитрий Иванович Бибилов, доктор биологических наук, старший научный сотрудник Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова. Зоолог. Изучает экологию волка. Автор монографии: Горные сурки Средней Азии и Казахстана. М., 1967.



Константин Павлович Филонов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Центральной научно-исследовательской лаборатории Главного управления охотничьего хозяйства и заповедников при Совете Министров РСФСР. Биолог-охотовед, изучает проблемы заповедного дела и экологию крупных млекопитающих. Автор монографии: Динамика численности копытных животных и заповедность. М., 1977.

Представление о заповедниках как эталонах дикой природы и научных лабораториях для изучения закономерностей существования биогеоценозов было сформулировано еще в начале нынешнего столетия. В материалах Всероссийского акклиматизационного съезда (1908) и XII съезда русских естествоиспытателей и врачей (1909) предусматривалась необходимость изъятия из хозяйственного пользования заповедных территорий, на которых природа должна быть «предоставлена самой себе»¹. Этот принцип заповедности с целью сохранения и изучения неприкосновенных участ-

ков типичных ландшафтов или уникальных памятников природы по существу был реализован только после Великой Октябрьской социалистической революции в декретах В. И. Ленина об организации Астраханского и Ильменского заповедников.

Однако при создании заповедников до недавнего времени их задачи и направления научных исследований обычно определялись необходимостью конкретных практических действий по сохранению редких и ценных видов животных — соболя, бобра, выхухоли, диких копытных. Так возникли Соболиный — Баргузинский, бобрый — Воронежский, выхухольные — Клязьминский и Хоперский заповедники и другие. Большое число организованных в разное время заповедников рассматрива-

¹ Кожевников Г. А. О заповедных участках. М., 1911.

лось как резерваты для восстановления численности и расселения диких копытных: зубра, благородного и пятнистого оленей, тура, лося, горала, кабана и других видов. Естественно, что задача спасения находившихся на грани исчезновения животных в силу своей очевидности и конкретности неизбежно становилась первоочередной, заслоняя и отодвигая на второй план проблему сохранения и углубленного изучения всего комплекса биотических сообществ. Именно подобным сужением задач, видимо, следует объяснить недостаточное внимание к разработке биоценологических проблем, ради которых, собственно, и создаются заповедники.

Утилитарный подход к заповедному делу и частичный отход от исходного принципа неприкосновенности заповедных территорий с конца 1930-х и особенно с 1950-х годов стал постепенно приводить к расширению вмешательства человека в природу охраняемых территорий с целью реконструкции и обогащения их флоры и фауны. При оценке деятельности заповедников ведущими критериями стали в то время успехи в применении различного рода биотехнических мероприятий, включая акклиматизацию новых видов, подкормку животных и борьбу с хищниками. В таких условиях, конечно, происходили нетипичные сукцессии в биоценозах. Примеры тому — нарушение лесных экосистем Хоперского, Воронежского, Кавказского и других заповедников из-за роста численности оленей, не соответствующей ёмкости угодий². Только в 60-е годы стала очевидной несостоятельность прежней концепции обогащения заповедных биоценозов за счет интродуцированных видов, создания

переуплотненных популяций копытных путем подавления численности крупных хищников и других биотехнических мероприятий³.

Некоторые категории вмешательства в природу заповедников, в частности борьба с крупными хищниками, сохраняются поныне, в том числе и в саморегулирующихся экосистемах эталонных и биосферных заповедников. На примере регулирования численности волка мы пытаемся оценить оправданность этих мероприятий в заповедниках.

ЧИСЛЕННОСТЬ ВОЛКА В ЗАПОВЕДНИКАХ

Специального учета численности волка, как впрочем и изучения его экологии, в большинстве заповедников до сравнительно недавнего времени не проводилось. Косвенным показателем численности могут служить данные о количестве уничтоженных животных.

Приведенные цифры в общих чертах отражают численность волков в заповедниках и показывают, что наиболее «волчьими» были лесостепные и некоторые горные заповедники. Темпы истребления волков нарастали примерно до середины

² Соломатин А. О. Благородный олень русской лесостепи. — «Бюлл. МОИП, отд. биол.», 1974, т. 79, № 1; Голгофская К. Ю., Криковцова Л. Ф. Зоогенные изменения лесной растительности в Кавказском заповеднике. — В кн.: Роль животных в функционировании экосистем. М., 1975.

³ Филонов К. П. Динамика численности копытных животных и заповедность. М., 1977.

Число уничтоженных волков в некоторых заповедниках РСФСР

Заповедник	Период наблюдения	Число уничтоженных волков	Среднее за 1 год*
Алтайский	1935—1949	59	4
Башкирский	1939—1961	75	3
Воронежский	1933—1958	278	11
Дарвинский	1948—1972	90	4
Кавказский	1938—1963	510	20
Ильменский	1937—1958	225	11
Мордовский	1937—1972	163	5
Окский	1937—1970	335	10
Печоро-Илычский	1956—1970	47	3
Сихотэ-Алиньский	1938—1949	104	10
Лазовский	1942—1949	92	13
Хоперский	1936—1950	167	12

* Данные округлены до целых величин.



Волк (*Canis lupus*).

Здесь и далее фото И. А. Мухина.

50-х годов. Если в 1937 г. их истребление проводилось в 6 заповедниках РСФСР (убито 65 волков), то в 1946 г. уже в 11 (170 волков), а в 1948 г. в 15 заповедниках (151 волк).

Об исчезновении волков из заповедников обычно судили по последним встречам выводков. К началу 50-х годов волки перестали размножаться в Воронеж-

ском, Хоперском, Окском, Мордовском заповедниках, а в других местах их численность стала минимальной — в Башкирском, Ильменском, Кавказском и других. В большинстве заповедников волков становилось все меньше, и только в отдельных, как например в Печеро-Ильичском и Алтайском, происходил обратный процесс.

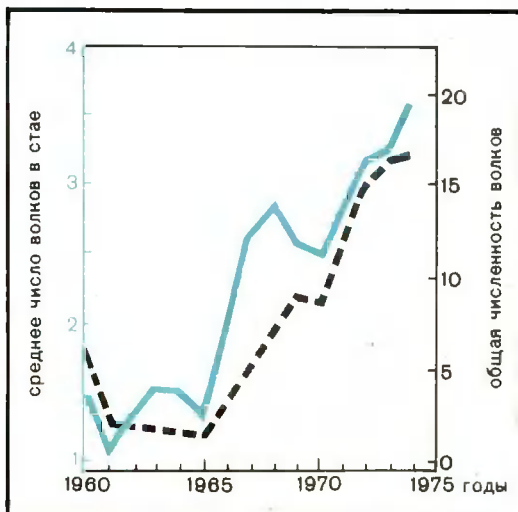
В конце 60-х — начале 70-х годов интенсивность борьбы с волком повсюду ослабела, а в некоторых заповедниках его перестали уничтожать с целью восстановления нарушенных связей в охраняемых при-

родных комплексах. Это не замедлило дать свои результаты — численность волка стала расти и теперь в ряде заповедников почти достигла исходной.

В настоящее время численность волков в заповедниках (где она установлена) колеблется зимой от 10 до 40 зверей на 1000 км², что примерно соответствует свойственной конкретным ландшафтам численности этого зверя. В последние годы подсчитано, что в Алтайском и Березинском заповедниках живет не менее чем по 50 волков, в Кавказском — 80—100, в Дарвинском, Хоперском, Окском, Центрально-Лесном, Боржомском, Чаткальском и Сихотэ-Алинском — примерно по 15 или чуть больше зверей. Наибольшая плотность волка в Кызыл-Агачском заповеднике, где на площади несколько менее 1000 км², покрытой в значительной мере тростниками и мелководьем морских заливов, обитает 60—70 зверей. Здесь ежегодно наблюдали появление, по крайней мере, шести выводков. По личному сообщению В. П. Литвинова, в течение пяти лет изучавшего в этом заповеднике экологию волка, последний существует за счет очень большой численности кабанов. Изывая на протяжении всего года большое количество молодняка, волки поддерживали все эти годы численность кабанов на уровне 700—800 особей перед сезоном размножения.

Говоря о численности волков, следует иметь в виду, что большие по площади участки обитания их отдельных семей нередко распространяются за пределы заповедников. Конечно, в подобных условиях базирующиеся на охраняемой территории хищники приносят определенный ущерб животноводству прилегающих районов, что дает основание рассматривать небольшие заповедники (Окский, Мордовский, Хоперский, Центрально-Лесной и некоторые другие) как своего рода волчьи резерваты. Пожалуй, только в таких заповедниках, как Кавказский, Печоро-Илычский, Алтайский и некоторых других, занимающих территорию более 1000 км², большинство волков постоянно живет в их пределах. Однако и здесь поселившиеся у границ, например, Кавказского заповедника отдельные звери совершают разбойничьи набеги на овец и коз, перегоняемых летом на высокогорные пастбища⁴.

Наблюдаются и явления противоположного порядка. Так, осенью и зимой, после перегона стад домашних животных из альпийского пояса Малого Кавказа в низкогорье, происходит концентрация волков в Боржомском заповеднике. По наблюдениям Т. К. Бараташвили (личное сообщение), численность волков при этом возрастает в несколько раз и соответственно увеличивается ущерб благородным оленям. Естественно, в перечисленных ситуациях необходимо регулирование численности волков, специализирующихся на пи-



Зависимость изменения стайности волков от их численности (показано цветом) в Дарвинском заповеднике. С увеличением численности волков закономерно увеличивается их стайность, последняя может служить косвенным показанием численности.

тании домашними животными, причем борьбу с ними следует вести за пределами заповедников.

СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ ВОЛКОВ

Сопоставление соотношения взрослых волков и сеголеток среди добытых зверей показывает, что при высокой общей численности молодняка раньше составлял 5—20%. Затем, по мере уменьшения общей численности волков, в 30—50-е годы доля сеголеток стала возрастать до 30—40% и к середине 50-х годов, когда во многих заповедниках волки перестали размножаться из-за своей малочисленности, вновь резко сократилась. Сходные изменения возрастной структуры в связи с плотностью

⁴ Кудактин А. Н. Об избирательности охоты волка на копытных в Кавказском заповеднике. — «Бюлл. МОИП, отд. биол.», 1978, т. 83, № 3.



Волки — активные хищники, способные проходить за сутки десятки километров.

популяции волка были описаны и в Северной Америке⁵.

Соотношение полов у волков разных возрастов следующее: у молодых на 2-х самцов приходится 1 самка, у взрослых — 1, 2 самца на 1 самку. Уменьшение числа самцов, доживших до зрелого возраста, объясняют особенностями поведения зверей, приводящими к большей естественной гибели самцов. Полагают также, что преобладание самцов в интенсивно преследуемых популяциях волков создает резерв, гарантирующий более надежное покрытие самок этого моногамного вида⁶.

Характерной чертой структуры популяции волков является их жизнь в группе, или стайность. Средний за много лет размер стаи волков в различных заповед-

никах колебался в ограниченных пределах: от 1, 4 до 3 особей, что зависело от их общей численности. Последнее дает основание считать размер стаи волка за косвенный показатель его численности. Самые большие стаи волков были отмечены в Воронежском (11 зверей), Башкирском (12) и Дарвинском (14) заповедниках, но не чаще чем в 2% случаев; одиночные звери встречались в 28—73%, пары в 16—35% случаев. В годы депрессии численности волки держались преимущественно одиночками или парами.

В Дарвинском заповеднике в период низкой численности стаи от 5 до 7 волков регистрировали примерно в 7% случаев, а в годы роста популяции они составляли уже 16%; стаи от 8 до 14 зверей попадались примерно в 5% встреч. Таким образом, между ростом численности волков и размером стай существует прямая зависимость.

ВЛИЯНИЕ ВОЛКОВ НА КОПЫТНЫХ ЖИВОТНЫХ

Анализ многолетних данных, отражающих роль хищников в жизни копытных животных заповедников, свидетельствует об относительно незначительных в среднем уронах, причиняемых волками копытным животным.

⁵ Mech L. D. The wolf: the ecology and behavior of an endangered species. N. Y., 1970.

⁶ Гурский И. Г. Волк в северо-западном Причерноморье (участок обитания, структура популяции, размножение). — Бюлл. МОИП, отд. биол., 1978, т. 83, № 3.



Волчата. В выводках волков бывает 4—5 щенят, значительно реже — более; известны случаи, когда волчица приносила 10—12 детенышей.

Наибольший урон копытные несли от волка, на долю которого приходилось в некоторых случаях до 3/4 всех животных, погибших от естественных причин. По отношению к общей численности всех копытных в заповедниках волк изымал (кроме Воронежского и Кавказского заповедников) в среднем от 3 до 7%. Однако эти числа копытных животных, уничтоженных волками не точны. Это объясняется не только трудностями обнаружения остатков жертв в природе, особенно молодняка, но и тем, что в результате постоянного преследования численность волка прогрессирующе снижалась, и это уменьшало пресс этого хищника на копытных. Все это не могло не отразиться на средних цифрах, отражающих гибель копытных от волка. В годы высокой численности волка популяция косули Ильменского заповедника теряла в среднем около 13%, лоси Дарвинского заповедника — примерно 12%. В Мордовском и Окском заповедниках хищники уничтожали 4—6% популяции лося и 8—13% — пятнистого оленя. Таким образом, волки изымают из популяций копытных животных примерно 1/5—1/4 части потенциаль-

ного или до 1/2 реального годового прироста. В заповедниках, где обитает несколько видов копытных животных, охотничий пресс волка распределяется между ними неравномерно, и предпочтение оказывается наиболее многочисленному и легко добываемому виду.

Значение волка в жизни копытных животных определяется не только его прямым влиянием на численность жертв. На различные возрастные и половые группы копытных волк оказывает различное влияние. Многие авторы подчеркивали преимущественную гибель наиболее молодых и наиболее старых животных, у некоторых видов в большей степени самок, чем самцов. Роль волка в популяциях копытных животных, видимо, шире, чем уничтожение наиболее слабых и физически (вероятно и этологически) неприспособленных особей. Д. Мич обратил внимание на то, что после появления волков на о-ве Айл-Ройал (национальный парк в шт. Мичиган) число двоен у лосей возросло с 6 до 38%. Для выяснения степени влияния численности волка на воспроизводство копытных животных в заповедниках сравним показатели плодовитости последних за два периода: относительно высокой (середина 40—50-х годов) и низкой (конец 50-х — середина 60-х годов) численности волка.

Период высокой численности волка

Соотношение естественных потерь копытных животных и гибели от волка в заповедниках РСФСР по находкам трупов или их остатков

Заповедник	Годы наблюдений	Вид жертвы	Средняя численность		Общее число погибших за все годы	В том числе от волка		Средняя годовая потеря популяции %	
			жертвы	волка		абс.	%	всего	от волка
Дарвинский	1948—1972	лось	340	12	467	285	61	5,5	3,2
Окский	1944—1972	лось	275	12*	147	67	46	1,9	0,8
	1938—1971	пятнистый олень	60		128	62	48	6,7	3,3
Мордовский	1943—1972	лось	278	6*	104	7	7	1,2	0,07
	1938—1972	пятнистый олень	180		347	92	26	5,5	2,0
	1945—1972	марал	57		29	10	30	1,8	0,6
Воронежский	1933—1952	благородный олень	230	10*	204	52	25	1,3	0,6
	1955—1960	»	610		305	14	5	2,5	0,05
Кавказский	1936—1968	благородный олень	3000	50—60	280	128	46	0,3	0,13
Башкирский (Узянский участок)	1942—1970	марал	160	12—18	35	11	31	0,7	0,2
	1946—1971	лось	310		20	10	50	0,2	0,12
	1939—1971	косуля	50		58	41	71	3,5	2,5
Ильменский	1942—1970	косуля	720	11—15	1260	937	74	6,3	5,0
	1942—1968	пятнистый олень	38		30	22	73	2,8	2,0

* По числу истребленных, т. е. общая численность популяции волка неизвестна, но имеются сведения о добытых волках. Поскольку истребление волков в заповедниках до середины 60-х годов проводилось очень энергично, то эта средняя цифра близка к реальной средней численности постоянно обитавших волков.

Связь численности волка и плодовитости копытных животных в некоторых заповедниках РСФСР

Заповедник		Показатели плодовитости копытных*	
		среднее число телят на 100 самок с приплодом	% самок с двойнями
Дарвинский	Лось	135	45
		125	24
Мордовский		149	41
		139	32
Окский		160	57
		152	48
Ильменский	Косуля	206	53
		194	51
Кавказский	Благородный олень	23** 14	***

* Верхние цифры — в период высокой численности волка (середина 40-х — 50-х годов), нижние — в период низкой численности (конец 50-х — середина 60-х годов).

** Данные имеются не на 100 самок с приплодом, а на 100 самок.

*** В годы высокой численности волка доля самок с телятами составляла около 32%, а в годы низкой — около 21%.

совпал с хорошим обеспечением копытных естественными кормами, и поэтому увеличение их плодовитости можно с полным основанием отнести за счет устойчивой кормовой базы. В это время, как отмечают многие исследователи, несмотря на высокую численность волка, темпы роста численности копытных были самыми высокими. Систематическое уничтожение волков во всех заповедниках способствовало повышению плотности населения копытных, что повлекло за собой истощение их кормовых ресурсов и усиление конкуренции. Поэтому уменьшение плодовитости самок можно связать с этим явлением.

Если плодовитость копытных животных зависела преимущественно от хищничества, то тогда она в одинаковой степени должна реагировать на него и при обилии корма, и при его недостатке. В некоторых заповедниках в начале 70-х годов численность волка стала восстанавливаться. Гибель копытных происходила в новых экологических условиях — неустойчивой кормовой базы и нарастающего пресса хищника.

В Дарвинском заповеднике в этот период такие показатели плодовитости, как число телат на 100 самок с приплодом, возросло на 5%, а число самок с двойняшками — на 33%. В то же время в Мордовском заповеднике волки были еще редки, как и в предыдущий период, и показатели плодовитости соответственно уменьшились на 2 и 25%.

Приведенные данные позволяют допустить, что охотничья деятельность волка связана с воспроизводством копытных животных, скорее всего, через изменение соотношения возрастных групп самок. Сильный пресс хищничества сопровождался элиминацией преимущественно молодых, старых, больных и дефектных особей, т. е. тех, которые или не участвуют в размножении, или плодовитость которых невелика. Эти сдвиги в структуре популяции, вероятно, приводили к повышению среднего уровня плодовитости в результате успешного размножения зрелых и физически полноценных животных. Однако этот вопрос требует дальнейших исследований.

В рассмотренные выше отрезки времени сильно менялась выживаемость телат копытных, что, видимо, прямо связано с хищничеством волка. В Дарвинском заповеднике в период низкой численности волка сохранность лосят к апрелю следующего года увеличилась по сравнению с

периодом высокой плотности популяции волка на 33, в Окском — на 16 и Мордовском — на 50%. В Ильменском заповеднике выживаемость молодняка косули к концу их первого года жизни возросла даже на 60%. Частичное восстановление численности волка в Дарвинском заповеднике снова привело к увеличению смертности лосят на 25%.

Приведенные выше данные по экологии волка свидетельствуют, что искусственное изменение его численности вызвало не только внутривидовые нарушения у самих хищников, но определенным образом повлияло на популяции тех животных, с которыми волк связан биоценотическими отношениями. Уничтожение волков в заповедниках способствовало прогрессирующему росту численности копытных животных. Последнее привело к нежелательным зоогенным сукцессиям в лесной растительности и к необходимости регулирования численности копытных и других форм вмешательства в охраняемую природу.

Таким образом, уничтожение волка привело к нарушению биоценотического гомеостаза и потере природой заповедников ее главного качества — устойчивости, т. е. ее эталонного значения. Поэтому в биосферных и других крупных заповедниках, достаточно большая площадь которых позволяет рассчитывать на сохранение здесь саморегулирующихся экосистем, хищники должны сохраняться в количестве, которое обеспечивает их регулирующие функции. В заповедниках, которые испытывают на себе сильное воздействие антропогенных факторов (обычно они невелики по площади и располагаются в районах интенсивного сельского хозяйства), нужно регулировать численность волка, но только под строгим контролем и с учетом возможных последствий.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Северцов С. А. ХИЩНИК И ЖЕРТВА.— В кн.: Памяти академика А. Н. Северцова, т. II. М.— Л., 1940.

Слудский А. А. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ХИЩНИКА И ДОБЫЧИ.— «Труды Института зоологии АН КазССР», 1962, т. 17.

Рябов Л. ГИБРИДЫ ВОЛКА С СОБАКОЙ.— «Охота и охотничье хозяйство», 1963, № 11.

Баников А. НЕОБХОДИМО ПРИСТАЛЬНОЕ ВНИМАНИЕ.— «Охота и охотничье хозяйство», 1978, № 9.

Геологические феномены Корякского нагорья

С. М. Тильман



Соломон Маркович Тильман, профессор, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией тектоники Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ДВНЦ АН СССР. Занимается изучением региональной геологии Северо-Востока и Востока Азии. Автор монографий: Тектоника и история развития Северо-Восточного Приколымья. Магадан, 1962; Сравнительная тектоника мезозонд севера Тихоокеанского кольца. Новосибирск, 1973. Автор и редактор Тектонической карты Северо-Востока СССР. М., 1966 и Тектонической карты Востока СССР и сопредельных областей. Магадан, 1979.

Геология Корякского нагорья — обширной территории на северо-востоке Магаданской области — до последнего времени была изучена сравнительно слабо. Большая часть Корякского нагорья картировалась только в мелком и среднем масштабах, и лишь некоторые районы, считавшиеся перспективными на горючие и рудные полезные ископаемые, были исследованы более детально.

Начиная с 70-х гг. в изучении этого региона произошел существенный сдвиг. Здесь были открыты такие тектонические структуры, которые сделали Корякское нагорье не менее притягательным для геологов, чем, например, Альпы или Кавказ.

Немаловажен и тот факт, что Корякское нагорье относительно хорошо обнажено и доступно для геологических наблюдений, а обнаруженные здесь структуры протягиваются на большие расстояния, уходя в пределы Камчатского п-ова. Их аналоги встречены на Сахалине, в Сихотэ-Алиньском хребте и в других районах. Следовательно, синтез фактических данных по геологии Корякского нагорья позволяет понять процессы, которые происходили и происходят по всей западной периферии Тихого океана.

Интерес геологов к Корякскому нагорью в значительной степени связан также с разработкой новой геосинклинальной тео-

рии, основные положения которой были проверены на геологических объектах Корякского нагорья.

СУЩНОСТЬ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНОЙ ТЕОРИИ

Современная геосинклинальная теория, родившаяся в конце 60-х гг. в стенах Геологического института АН СССР, внесла важные коррективы в существовавшие прежде представления о геосинклинальном процессе. Геосинклинали принято было определять как протяженные области материковой земной коры, претерпевшие погружение (сопровождавшееся накоплением осадков) и впоследствии превратившиеся в складчатые горы.

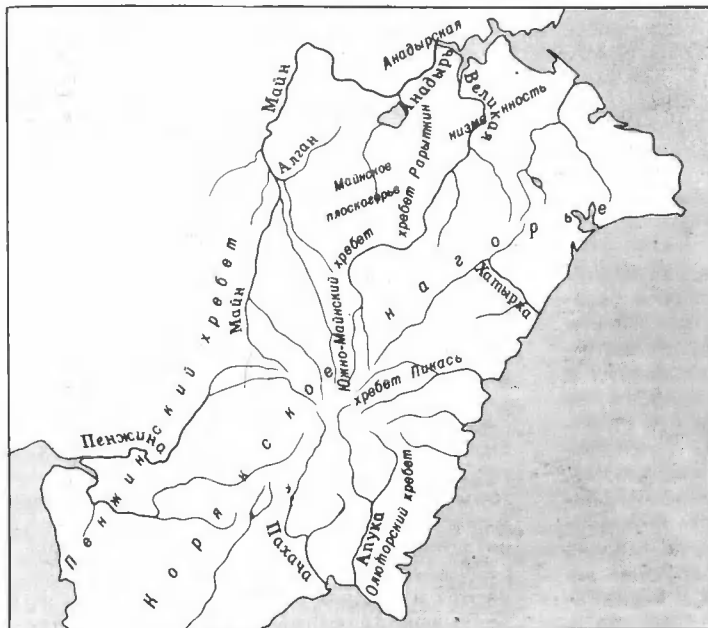
В свете новых данных по геологии дна Мирового океана оказалось, что геосинклинальные пояса (эвгеосинклинали) возникли не на континентах, а на океанической коре, лишенной, в отличие от континентальной, гранитного слоя. Фундаментом эвгеосинклиналей служат породы ультраосновного и основного состава (гипербазиты и габбро), принадлежащие верхней мантии и базальтовому слою.

Геосинклинальный процесс, согласно современной геосинклинальной теории, отождествляется со сложным преобразованием океанической коры в континенталь-

ную. В своем развитии звгеосинклинали проходят три стадии: океаническую, переходную и континентальную, определяемые по характерным наборам магматических и осадочных формаций¹. Океанической стадии свойственны излившиеся в подводных условиях лавы базальтов, глубоководные кремнистые породы, известняки, глубоководные тонкие илы. Переходная стадия, на которой и происходит преобразование океанической коры в континентальную, распознается по появлению и широкому распространению подводных, а иногда

консолидированных осадков габбро-плагио-гранитных интрузивов (так называемых натриевых серий магматических пород). Тектонические режимы переходной стадии аналогичны режимам, свойственным современным островным дугам, глубоководным желобам и краевым морям.

В течение переходной стадии формируется гранитный слой, однако земная кора при этом еще не становится континентальной. Показателями зрелой континентальной коры являются верхние молассовые комплексы, наземные вулканы и гра-



Основные хребты и реки Корякского нагорья.

и надводных вулкаников среднего состава (андезитов), мощных сланцевых и флишевых толщ, продуктов разрушения лав основного и среднего состава (граувакк), а также кремнистых пород, известняков и доломитов, образующихся в менее глубоководных условиях. Переходный комплекс заканчивается серией грубообломочных и среднеобломочных пород, чередующихся с тонкими переслаиваниями алевролитов и сланцев (нижней молассовой серией).

Переходная стадия, обычно охватывающая несколько геологических периодов, характеризуется активным интрузивным магматизмом. Одновременно с геосинклинальным осадконакоплением и вулканизмом происходит внедрение в толщу уже

нитные интрузии с повышенным содержанием окиси калия. Если все эти факторы налицо, то можно сказать, что звгеосинклинали превратились в складчатые сооружения и стали типичными континентами. Иными словами, наступила третья стадия развития звгеосинклиналей — континентальная.

На Востоке Азии примерами крупных континентальных блоков земной коры являются Алданский щит, Верхояно-Чукотская область мезозойской складчатости и Монголо-Охотский палеозойский пояс. Геологи заметили, что здесь, как и в других районах земного шара, по периферии континентальных массивов расположены окраинно-материковые вулканические пояса, протягивающиеся на сотни и даже тысячи километров. Таковы, например, Охотско-Чукотский и Сихотэ-Алинский пояса.

¹ Пейве А. В. Офиолиты и земная кора. — «Природа», 1974, № 2.



Наиболее возвышенная часть Корякского нагорья.

Тектоническая эволюция эвгеосинклиналей выражается в образовании складок, в перемещении пластин и блоков горных пород в горизонтальном и вертикальном направлениях, в скупивании их в одних местах и растяжении в других, во вторжении по разломам в верхние структурные этажи вещества мантии (гипербазитов), а также во внедрении интрузивов. Таким образом, в складчатых сооружениях, возникших на месте бывших эвгеосинклиналей, мы можем наблюдать глубинные части Земли, не прибегая к другим, зачастую дорогостоящим методам исследования.

Корякское нагорье принадлежит к тем уникальным объектам, где достаточно широко представлены разновозрастные комплексы пород, характерные для ранних этапов развития эвгеосинклиналей. Вот почему к этому региону приковано пристальное внимание геологов.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЭКСПЕДИЦИИ В КОРЯКСКОМ НАГОРЬЕ

Приступая к детальным геологическим исследованиям в Корякском нагорье²,

² В конце 1975 г. постановлением Президиума АН СССР была создана Корякская геологическая экспедиция, объединяющая коллективы Геологического института АН СССР и Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ДВНЦ АН СССР под научным руководством А. В. Пайве и Н. А. Шило.

мы выбрали такие объекты, где можно было бы решать узловые проблемы геологии этого края. Наиболее интересными оказались следующие районы: территория, заключенная между р. Великой и побережьем Берингова моря, Майнские горы, Пенжинский краж, Пекульнейский и Пикасываямский хребты и др.

Согласно прежним представлениям, Корякское нагорье имеет складчатую структуру, состоящую из системы поднятий, антиклинорий и синклинорий, на которые наложены впадины, заполненные молассовыми отложениями. Такая структура возникла на месте бывших прогибов в результате вертикальных движений. На поднятиях и в ядрах антиклинорий на поверхность выходят отдельные блоки более древних пород — палеозойских и раннемезозойских (вулканогенно-кремнистых, терригенных и карбонатных), а на крыльях антиклинорий и в смежных синклинориях обнажены толщи более молодых поздне-мезозойских и раннекайнозойских пород (флишевых и реже вулканогенно-осадочных).

Эти толщи местами разделены стратиграфическими перерывами и так называемыми поверхностями несогласного залегания пород. Складчатая структура нагорья осложнена разломами, преимущественно крутыми поперечными и продольными сбросами. Осадочные и вулканогенные породы вмещают крупные и мелкие тела гипербазитов и габбро, которые в большинстве случаев описывались как интрузивные образования. Принято было считать, что в основании складчатых зон Корякского нагорья местами находятся



Останцовый рельеф в Хатырском районе. Останцы сложены серпентинитовыми породами, смятыми в мелкие складки.

сиалические (с высоким содержанием Si и Al) метаморфические комплексы докембрийского возраста, что само по себе исключало наличие здесь океанической земной коры³.

Первые маршруты принесли новые и во многом неожиданные результаты. Например, на левом берегу р. Хатырки в ее среднем течении отчетливо видно, как на дислоцированных позднемеловых отложениях, возраст которых подтвержден находками фауны, залегают породы палеозойского возраста. Контакты между толщами разного возраста, тектонические по своей природе, выражены в виде надвигов, наклоненных на север и северо-запад под углами от 15—30° до 60—70°. Непосредственно над верхним надвигом залегают смятые в складки и раздробленные базальты, которые выше сменяются их туфами и кремнистыми породами, включающими пласты и линзы мраморизованных известняков пермского возраста. Видимая мощность палеозойского разреза меняется от 300 до 500 м. Нижние надвиги привели в соприкосновение породы сенона (образующие пеструю толщу, состоящую из глинистых сланцев, граувакк, туфов и яшм) и

маастрихта (представленные конгломератами, песчаниками и алевролитами, находящимися в частом переслаивании друг с другом).

Таким образом, в обнажении у р. Хатырки мы имеем дело с типичной покровной структурой, в которой пластины более древних палеозойских пород, занимающая верхнее структурное положение, тектонически перекрывают мезозойские отложения. Покровные структуры подобного рода широко распространены вблизи побережья Берингова моря (Эконайская зона), где они детально изучены геологами С. В. Руженцевым, С. Г. Бялобжеским, С. Д. Соколовым и др. Эти исследователи отметили, что в основании покровных пластин нередко залегают рассланцованные серпентиниты или измененные гипербазиты и габбро (т. е. породы, присутствие которых свидетельствует о глубинной природе надвиговых нарушений). Ими же в результате геологического картирования установлено, что из-под палеозойских отложений местами обнажаются «тектонические окна», сложенные породами сенона или верхней юры — нижнего мела, а иногда теми и другими вместе. Покровные пластины смяты в складки, среди которых преобладают наклонные, лежащие и опрокинутые.

В других районах Корякского нагорья, где покровная тектоника выражена не столь ярко, как в Эконайской зоне, мы наблюдали преимущественно чешуйчатое строение геологического разреза. В этом случае тектонически соприкасаются разные части мезозойского разреза, блоки и пластины палеозойских пород, а также фраг-

³ Егизаров Б. Х. и др. Геология и полезные ископаемые Корякского нагорья. — «Труды НИИГА», 1965, т. 148.



Фрагмент покровной структуры, характерной для Корякского нагорья. Вверху снимка — базальты, яшмы и известняки верхнепермского возраста; в средней части — вулканогенно-терригенные породы сена; внизу — слоистая толща маастрихта.

менты гипербазит-габбрового (офиолитового) комплекса.

Изучая геологию Корякского нагорья, мы столкнулись с необычными образованиями, именуемыми олистостромами. Эти несортированные грубообломочные породы (от гравелитов и конгломерато-брекчий до крупноглыбовых брекчий) были обнаружены в виде линз, пластов и мощных пачек среди терригенных и туфогенно-терригенных толщ нижнего и верхнего мела. Обломки, глыбы и иногда крупные пластины в олистостромах, называемые олистолитами, представлены кремнями, яшмами, спилитами и известняками палеозойского и раннемезозойского возраста, а также габброидами, плагиогранитами и реже гипербазитами. Происхождение олистостром связано с обвалами и оползнями, возникающими при перемещении покровов.

Тот факт, что удалось обнаружить эти редкие образования, очень важен для понимания геологии района. С одной стороны, олистостромы являются показателями особых тектонических условий и условий накопления осадков в раннемеловое и позднемеловое время, а с другой, — позволяют уточнить некоторые вопросы стратиграфии, так как в ряде случаев олистостромовые толщи по находкам остатков фауны ошибочно относили к более древним геологическим образованиям.

Другой геологический феномен Корякского нагорья — серпентинитовый ме-

ланж (от франц. *mélange* — смесь). Это характерное для зон тектонических нарушений образование, состоящее из переработанного серпентинитового цемента с включениями в виде глыб. Глыбы представлены такими породами палеозойского разреза, как базальты, яшмы, известняки, осадочные и вулканогенные породы, габбро, плагиограниты, гипербазиты, метаморфические сланцы и др.

Меланж возникает при перемещении пластины гипербазитов вместе с покрывающими ее комплексами пород. Структурное положение меланжа может быть самым различным, однако чаще всего мы видим меланж в основании покровных пластин. Крупные меланжи, простирающиеся в виде узких полос на десятки и даже сотни км, представляют в рельефе весьма впечатляющее зрелище. Окрашенные в различные цвета серпентиниты легко разрушаются до тонких глинистых фракций, и тогда на их фоне выступают глыбы более прочных пород в виде скал самой разнообразной формы.

Полосы меланжа вместе с пространственно близкими к ним пластинами гипербазитов, габбро, плагиогранитов, базальтов, спилитов и кремнисто-вулканогенных пород образуют офиолитовые пояса. Их изучение дает геологам неоценимую информацию, так как именно в пределах офиолитовых поясов могут быть выявлены особенности строения океанической коры и подстилающей ее мантии. В Корякском нагорье принято выделять три основных пояса: Пенжинско-Пекульнейский, Хатырский и Олюторский. Наиболее полный разрез океанической коры удалось наблюдать в юго-



Олистолиты каменноугольно-пермских известняков, заключенные в нижнемеловой туфогенно-терригенной толще.

западной части Пенжинско-Пекульнейского пояса, где на левом берегу р. Таловки к полосе меланжа прилегает крупная пластина Куюльского гипербазитового массива. По данным магаданских геологов А. А. Александрова, А. Д. Чехова и др., большая часть этого массива сложена интенсивно серпентинитизированными ультраосновными породами — гарцбургитами и лерцолитами, переходящими в верхней части разреза в гипербазит-габбровый комплекс с хорошо выраженным чередованием полос верлитов, пироксенитов, перидотитов, оливковых габбро и троктолитов. Полосчатый комплекс сменяется расслоенными и массивными габбро-норитами и габбро, затем дайковым комплексом, базальтами и кремнисто-вулканогенной толщей нижнепалеозойского возраста. Смена перечисленных пород по вертикали позволяет восстановить картину формирования океанической коры в далеком геологическом прошлом.

Помимо тектонических покровов, олистостром и меланжей, в пределах Корякского нагорья геологами обнаружены и изучены достаточно крупные автохтонные (неперемещенные) блоки земной коры. Это Пенжинский прогиб на западе Корякского нагорья, Алганский прогиб в центральной его части и Алыкватваамский прогиб на юго-востоке. Все эти блоки земной коры возникли на месте шельфов и котловин бывшего краевого моря. В их строе-

нии принимают участие мощные толщи флиша, граувакк, алевролитов, песчаников, туфов, конгломератов. Стратиграфические разрезы здесь почти непрерывны от верхней юры до палеогена. Вверху разрезов тонкозернистые морские отложения сменяются грубообломочными прибрежно-морскими и прибрежно-континентальными, относящимися к классу моласс.

Итак, попытаемся суммировать все новые сведения о геологии Корякского нагорья, полученные за последние годы. Рассматриваемая территория охватывает сложную Анадырско-Корякскую геосинклинально-складчатую систему, в которой зоны растяжения чередуются с зонами сжатия, тектонически совмещенными друг с другом по глубинным надвигом. Для тектоники нагорья характерны как тектонические покровы, так и чешуи. В западной части Корякского нагорья преобладают чешуйчатые тектонические пластины и редкие аллохтонные блоки, а в восточной — широко развиты полосы серпентинитового меланжа и покровы. Зоны растяжения (Пенжинско-Анадырская, Алганская, Алыкватваамская) представлены комплексами разнообразных по составу мезозойских и кайнозойских отложений, а в зонах тектонического скупивания на поверхности обнажаются офиолитовые и океанические образования, составляющие основание Анадырско-Корякской системы. И зоны растяжения, и зоны скупивания обладают сложным внутренним строением. Чешуи, пластины и покровы деформированы вплоть до образования лежащих складок. Офиолитовые пояса подчеркивают общую покровно-чешуйчатую структуру нагорья.



Геологический разрез через северо-восточную часть Корякского нагорья.



Как видно, в формировании структур Корякского нагорья ведущую роль играли горизонтальные движения. Но как совместить этот вывод с встречающимися и по сей день предубеждением против возможности крупных горизонтальных перемещений литосферных блоков земной коры и, соответственно, неверием в существование тектонических покровов? Правда, допуска-

ется, что покровные структуры (шарьяжи) могут существовать в Альпах, на Балканах или в Апеннинах, но уж никак не в Корякском нагорье.

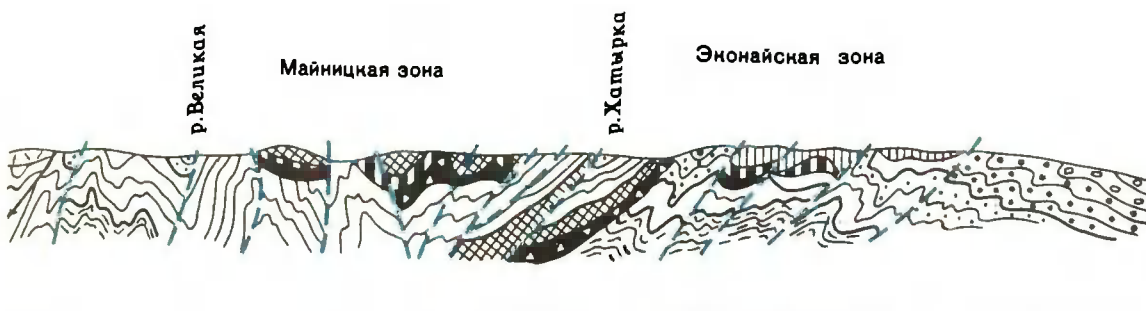
О ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ КОРЯКСКОГО НАГОРЬЯ

Анализ последних данных по геологии и тектонике Корякского нагорья позволяет по-новому взглянуть на историю развития этого края и показать, как происходило здесь преобразование земной коры.

В палеозое на месте Корякского нагорья существовал обширный солончатый бассейн с корой океанического типа. Был ли он частью бывшей океанической впадины или же представлял собой глубоко-водную котловину окраинного моря, сейчас установить трудно. Этот бассейн примыкал на западе к островной дуге, которая протягивалась вдоль побережья Охотского моря через п-ова Кони и Тайгонос и далее шла на северо-восток вдоль Охотско-Колымского водораздела. Западнее этого бассейна простирался Верхояно-Чукотский континентальный блок, являвшийся в то время шельфовой зоной. В разных районах бассейна, бывшего на месте современного Корякского нагорья, раскрытие мантийного субстрата и формирование комплексов океанической стадии, по-видимому, происходило неодновременно с тенденцией омоложения их возраста в направлении с запада на восток.

В начале мезозоя (триас — юра) наступила зрелая геосинклинальная стадия. Морской бассейн, отличавшийся от палео-

ЮВ



зойского более контрастным тектоническим рельефом дна, напоминал современные окраинные моря типа Берингова. В его пределах находились участки подвижного шельфа, глубоководные котловины, островодужные поднятия и междугуовые прогибы. Формирование краевого моря в мезозое, очевидно, было обусловлено совокупностью процессов растяжения и сжатия палеозойской субокеанической коры. Бывшие вначале слабыми, эти процессы достигли максимума в конце юры и начале мела. В результате некоторые островодужные поднятия были вовлечены в горизонтальные перемещения и превратились в аллохтоны, а в зонах растяжения местами возникли новообразованные рифты, где кора раскрылась до мантийного субстрата. В дальнейшем общее тектоническое скупивание превалировало над растяжением, причем эпохи сжатия приходились на середину мела, конец мела, среднеэоценовое время и вторую половину миоцена. Они и привели к окончательному оформлению покровно-чешуйчатых структур. Блоки и пластины горных пород перемещались в основном в направлении от континента к Тихому океану.

Превращение окраинно-морского бассейна в покровно-складчатую структуру началось в середине палеогена и продолжалось до неогена включительно, о чем свидетельствуют континентальные молассовые отложения соответствующего возраста.

Таким образом, на примере Корякского нагорья подтвердились основные положения новой геосинклинальной теории. Вместе с тем континентальная стадия

развития эвгеосинклиналей здесь еще не достигла своего окончательного завершения, ибо на всей территории отсутствуют проявления калиевого гранитного магматизма. По-видимому, Корякское нагорье находится еще на уровне развития нижних молассовых серий и принадлежит к современному притихоокеанскому геосинклинальному поясу, составляя северо-восточный его фланг.

Как и во всех других регионах, преобразование земной коры здесь сопровождалось эволюцией рудного вещества. С гипербазит-габбровыми и океаническими комплексами пород связаны месторождения хромитов, платины, железа и меди, а с породами переходной стадии — медно-порфировые руды, ртутные и оловянные месторождения, а также некоторые месторождения благородных металлов. Современная трактовка истории геологического развития Корякского нагорья открывает новые пути для поисков и прогнозных оценок минерального сырья.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ КАРТА ВОСТОКА СССР И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ МАСШТАБА 1:2 500 000. М., 1979.

Александров А. А. ПОКРОВНЫЕ И ЧЕШУЙЧАТЫЕ СТРУКТУРЫ В КОРЯКСКОМ НАГОРЬЕ. М., 1978.

Марков М. С., Пушаровский Ю. М., Тильман С. М., Федоровский В. С., Шило Н. А. ТЕКТНИКА ВОСТОКА СССР И ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ. — «Геотектоника», 1979, № 1.

Галерея наскального искусства в Хангае

П. В. Коваль,
кандидат геолого-минералогических
наук
Иркутск

Заканчивая полевые работы 1977 г. в Хангайском нагорье (Монголия), наш геохимический отряд неожиданно обнаружил в долине р. Чулутын-гол многочисленные наскальные изображения. Хотя (как потом выяснилось) писаницы буквально обступали наши палатки, первые дни мы их вовсе не замечали. Но однажды наше внимание привлек камень, испещренный изображениями зверей. И словно упала невидимая шторка — сотни различных изображений открылись нашему глазу. Рисунки во множестве покрывали черные и темно-шоколадные поверхности базальтовых глыб второй надпойменной террасы вблизи лагеря, а также выше и ниже по течению. Многие из них были сильно выветрены и покрыты скальным загаром. Олени, козлы, кабаны, волки, сцены охоты. Разнообразие стилей и манеры изображений. В большом количестве петроглифы попадались и на следующем (третьем) базальтовом уступе. Это была настоящая художественная галерея в несколько ярусов под открытым небом.

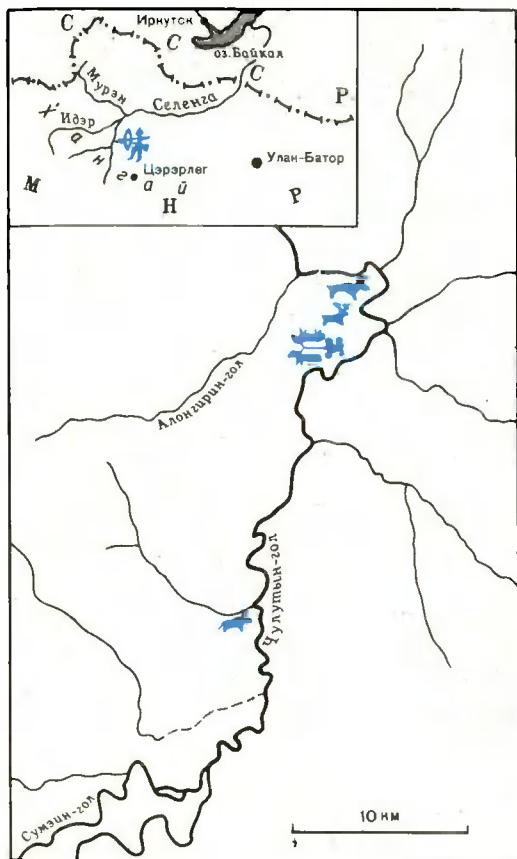
Хангай — высоко поднятое нагорье, находящееся в центральной части Монгольской Народной Республики. Его высота в среднем 2000—3000 м, отдельных вершин — 3600—3900 м. Река Чулутын-гол (Каменистая), начинаясь в центре Хангая, течет к северу и, выйдя за его пределы вместе с Идэром, и Мурзном, дает начало Селенге.

Наскальные рисунки встречаются в среднем течении Чулутын-гола ниже его слияния с р. Сумэин-гол на протяжении нескольких десятков километров. Высота долины над уровнем моря здесь 1800—1700 м. Древняя долина Чулуту неоднократно заливалась четвертичными базальтами, в которых река прорезала живописный каньон глубиной около 80 м. Горно-степной ландшафт оживляют острова лиственничного леса и скалистые останцы

гранитных пород. В пойме реки встречаются заросли смородины, крыжовника, ивняка и одиноко стоящие ильмы и тополя.

В излучинах реки и устьях распадков каньон расступается, террасы и базальтовые потоки уступами спускаются к порожиному руслу Чулуту. Эти места наиболее удобны для стоянок. Здесь обычно встречаются и петроглифы. Наиболее богата наскальными изображениями левая сторона долины в нескольких километрах выше устья р. Алонгин-гол, где Чулуту, поворачивая на северо-запад, образует большую коленчатую излучину. Мы успели сделать лишь несколько десятков прорисовок и фотографий, главным образом в ближайших окрестностях лагеря. На изображениях колесниц, людей и зверей в южной части излучины уже не было времени. Не обследованным остался и участок долины ниже устья Алонгин-гола, где также весьма вероятны находки писаниц. Детальное описание чулутынских петроглифов — дело специалистов-археологов. Однако трудно удержаться от соблазна организовать этот удивительный вернисаж в единую логическую систему. Поэтому я попытаюсь представить их, объединив первые впечатления и наблюдения с немногими специальными сведениями.

Даже беглое сопоставление рисунков, степени их выветренности и интенсивности скального загара, техники исполнения, стилистических и сюжетных особенностей не оставляет сомнений в том, что петроглифы Чулуту принадлежат самым различным возрастным пластам. Археологические находки показывают, что уже в палеолите Хангай был освоен человеком. Миграции доисторического человека были тесно связаны с изменениями климата и развитием оледенений. В Хангайском нагорье установлены следы двух



Долина реки Чулуутын-гол в среднем течении. Места скопления наскальных рисунков указаны значками.

или трех древних оледенений¹. Первое — покровного или полупокровного типа — относится к середине четвертичного периода. Два последних, развивавшиеся как горно-долинные, датируются поздним плейстоценом. Колебания палеоклимата закономерно сочетались с изменением скорости поднятия гор и образованием речных террас, излияниями базальтовых лав, развитием и деградацией ледников. Эти процессы, по всей вероятности, имели многостадийный ритмичный характер².

¹ Кожевников А. В. Савин В. Е., Уфлянд А. К. Труды совместной Сов.-Монг. науч.-исслед. геол. эксп., 1970, вып. 2.

² Максимов Е. В. Проблемы оледенения Земли и ритмы в природе. Л., 1972.



Солнечная сторона базальтовых глыб испещрена изображениями зверей.

В долинах хангайских рек установлено до четырех позднеплейстоценовых террас. Культуры каменного века, существовавшие уже во время углубления рек в площадку верхней четвертой террасы, развивались вплоть до начала врезания рек в площадку первой террасы и формирования современного облика речных долин. Палеолитическая эпоха, очевидно, близка по времени к эпохе последних горно-долинных оледенений плейстоцена, сопоставляемых большинством исследователей с сартанским и зырянским западно-сибирскими оледенениями (ок. 30—10 тыс. лет назад). Это было время, когда формировались отложения высоких (четвертой, третьей и, возможно, второй) террас.

Петроглифы Чулуутын-гола, в том числе самые ранние из них, встречаются не только на третьей террасе. Они обиль-



Изображение в духе «коленных камней». «Поднято» раствором зубного порошка.

Ревущий изюбрь. «Поднято» раствором зубного порошка.



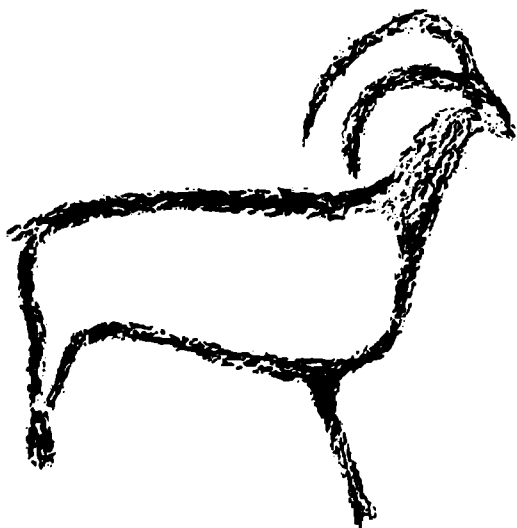
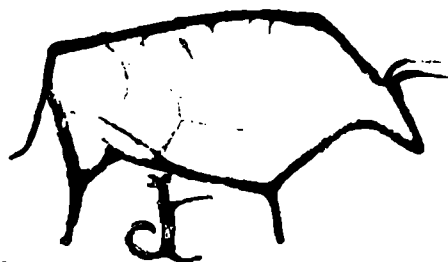
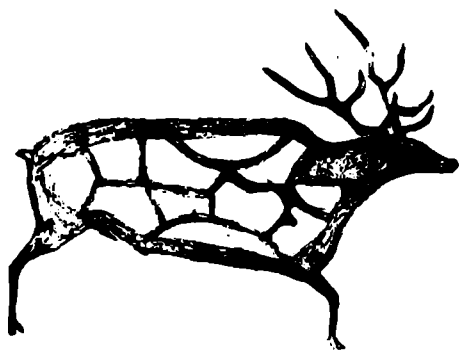
но покрывают уступ и бровку второй надпойменной террасы. Появились они, естественно, в послеледниковый период и могли быть выполнены на любой высоте много позже. Поэтому наша датировка петроглифов — их нижний возрастной предел может быть отнесен к началу мезолита (ок. 9—10 тыс. лет назад).

К наиболее древним, по-видимому, относятся изображения быков, благородных оленей, реже — кабанов, горного козла и лошади, выполненные достаточно глубоким контуром с более или менее полным расчленением его на отдельные детали, смысл которых неясен (скелетно-контурный стиль). Как правило, это отдельные или парные изображения размером до одного метра. Они покрыты густым темно-шоколадным скальным загаром и нередко маскируются лишайниками. Иногда в углублениях контура встречаются следы охры. У фигур массивное туловище, небольшая голова, пропорциональные рога и конечности. Позы статичны, но выразительны. Лучшие образцы отличаются монументальной лаконичностью и законченностью форм. Изображение козла напоминает аналогичные фигуры мезолитических петроглифов департамента Ардеш во Франции³.

Можно полагать, что петроглифы скелетно-контурного стиля относятся к периоду послесартанского потепления, когда отступление ледников и повышение аридности климата соседних районов способствовало активному освоению богатых охотничьих и пастбищных территорий Хангае.

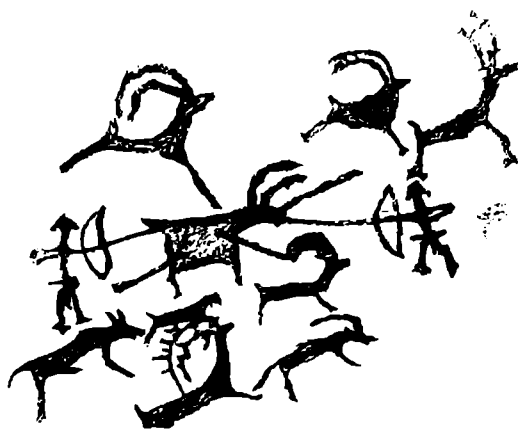
Рисунки следующего возрастного пласта выполнены в технике сплошного скальвания. Рельеф неглубок, зачастую его с трудом можно обнаружить на поверхности камня. О более молодом возрасте свидетельствуют относительно светлые тона скального загара и единственный встреченный нами случай наложения фигуры лося на контурное изображение лошади.

Намечаются две стилистические группы петроглифов, выполненные в этой технике. К первой относятся примитивные натуралистические изображения северного оленя и волков, реже встречаются фигуры длинношерстного козла и лося.

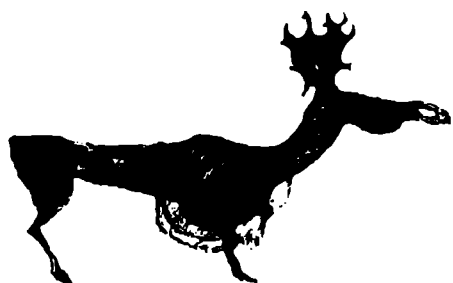
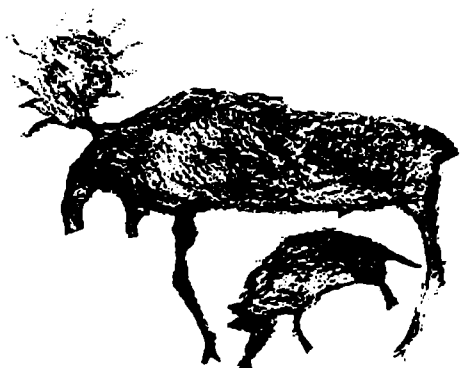


³ Мириманов В. Б. Малая история искусства. Первобытное и традиционное искусство. М., 1973.

«Скелетно-контурные» фигуры оленя, тура и горного козла, напоминающие наскальные изображения каменного века Испании и Франции. Изображение собаки, очевидно, более позднее.



Удачная охота. Стиль «охотников с луками».



Неолитические изображения «солнцегогих лосей».

Размеры отдельных изображений 15—35 см. Контуры нечеткие, расплывчатые, пропорции фигур зачастую искажены (стиль примитивного натурализма).

Создается впечатление, что эволюция стиля примитивного натурализма приводит к появлению более совершенных и выразительных форм, которые можно выделить в стиль «солнцегогих», так как среди изображений встречается фигура лось с характерными солнцеподобными рогами. Лось выступает здесь в качестве главного объекта изображения, изредка попадаются несколько стилизованные «романтичные» фигурки благородного оленя. Преобладают изображения отдельных животных.

Нетрудно заметить, что животный мир эпохи петроглифов, исполненных в стиле примитивного натурализма и «солнцегогих сохатых», по сравнению со «скелетно-контурным» становится значительно беднее. На первый план выступают более холодостойкие животные: представитель субарктической фауны северный олень и сменяющий его лось. Подобное изменение тематики, безусловно, должно иметь реальную основу, например, наступление нового похолодания, вызвавшее серьезные изменения в фаунистическом комплексе Хангая. Весьма вероятно, что этот климатический ритм соответствует времени новосанчуговского похолодания и последующего потепления (ок. 7—5 тыс. лет назад). В таком случае культуры, оставившие рисунки в стиле примитивного натурализма и «солнцегогих сохатых», принадлежат эпохе неолита.

Далее следует «пласт» наиболее распространенных и хорошо читаемых петроглифов, с которых, собственно, и началось наше знакомство с чулутынскими писаницами. Характерная их особенность состоит в том, что художники смело вводят в сюжет активную фигуру человека — охотника с луком. Наряду с рисунками отдельных животных, типичными становятся их массовые изображения и динамичные остросюжетные сцены охоты. Особенно любопытны сцены совместной охоты человека и волков: в отличие от собак, имеющих хвост крючком, волчья порода легко узнается по характерному хвосту-«полену». Глядя на них, невольно приходишь к мысли, что древний мифический охотник нередко пользовался услугами волчьей стаи.

Излюбленными моделями изображения остаются копытные животные: благородный олень, горный козел, ка-



Охота человека и волчьей стаи .

Загонная охота. Справа сверху фигура «предводителя в доспехах». Петроглиф «поднят» раствором зубного порошка.





Погоня. Олень и волки.

бан. Более редки лось, косуля. Изображения, как правило, реалистичны. Динамичные и выразительные фигуры охотников предельно схематизированы. Схематизация коснулась также изображений волка и собаки. Преобладающая техника изображений — сплошной антирельеф различной глубины; реже используется контур.

С известной долей условности здесь можно наметить несколько стилей, соответствующих, скорее всего, различным временным периодам и культурам. К наиболее ранним, очевидно, следует отнести стиль «детских палочек», которому присущ предельный схематизм изображений.

В стиле, который можно было бы назвать стилем «охотников с луками», художественная выразительность и острота сюжета достигают своего расцвета. Любимой темой становится изображение ревущего оленя во время гона и охотничьих сцен. Признаки пола обычно передаются в подчеркнуто утрированной манере. Здесь нельзя не отметить характерную эволюцию изображений оленя: от фигур с рогами лесенкой и веточками до прекрасных образцов в скифском зверином стиле или в духе типичных «коленных камней». Невольно возникает мысль: а не здесь ли родина того скифского зве-

риноного стиля, который в других районах Евразии обычно предстает вполне сложившимся и завершенным?

Еще одну группу петроглифов представляют небольшие стилизованные фигурки горных козлов, оленей и косуль, выбитые сплошным глубоким рельефом. По манере исполнения они напоминают тамгообразные знаки тюркского времени⁴.

Наконец, следует остановиться на изображениях, относительно слабо тронутых скальным загаром. К ним принадлежит, во-первых, контурный рисунок повозки, запряженной волом. Повозка дана в перспективе. Затем встречаются мелкие, выбитые сплошным неглубоким рельефом изображения оленей, козлов и животного, напоминающего кошку. Фигуры прихотливо деформированы и не производят глубокого эстетического впечатления. Можно предполагать, что они принадлежат эпохе позднего средневековья.

Окидывая взглядом чулутынское собрание писаниц, замечаешь, насколько уместно и органично оно вписывается в окружающий ландшафт. Масштабы рисунков и каменной основы соразмерны. Умело использовалась фактура каменной поверхности, неровностями и пустотами базальта подчеркивались отдельные детали изображений. Поражает стихийная деликатность первобытного художника. Тысячелетиями пласт за пластом ложились изображения на базальтовые глыбы, не нарушая и не уродуя друг друга. Расположенные на солнечной стороне долины чулутынские писаницы в своем первоизданном виде должны были производить потрясающее впечатление на человека минувших эпох. К ним невозможно оставаться равнодушным и сейчас, сотни и тысячи лет спустя. В атмосфере чулутынских писаниц невольно проникаешься ощущением эмоционального родства Человека всех времен.

⁴ Дюж Д., Новгородова Э. А. Петроглифы Монголии. Улан-Батор, 1975.

Космические исследования

Биоспутник «Космос-1129»

25 сентября 1979 г. в Советском Союзе был осуществлен запуск биоспутника «Космос-1129», предназначенного для продолжения исследований по влиянию факторов космического полета на живые организмы. На спутнике установлены экспериментальные системы с биологическими объектами (млекопитающими, насекомыми, растениями, культурами клеток) и научная аппаратура, разработанная в СССР, ЧССР, США и Франции. В обработке экспериментального биологического материала примут участие специалисты НРБ, ВНР, ГДР, ПНР и СРР.

Среди более десяти экспериментов, проведенных на борту «Космоса-1129», некоторые являлись развитием предыдущих, другие выполнялись впервые. В качестве подопытных млекопитающих в экспериментах «Стресс», «Биоритм», «Состав тела», «Поведение» использовались 38 белых крыс, выращенных в «особо чистых» условиях специалистами Института эндокринологии Словацкой академии наук.

На семи крысах (пяти самках и двух самцах) был поставлен эксперимент «Онтогенез», в ходе которого впервые сделана попытка определить возможность оплодотворения и развития зародыша у млекопитающих в условиях невесомости. Эксперимент начинается со встречи крыс, помещенных в специальной клетке. В основном «Онтогенез» и определял длительность полета «Космоса-1129»: спутник должен приземлиться за 2—3 дня до начала предполагаемых родов. По мнению специалистов, беременные самки и развивающиеся зародыши более чувствительны к воздействию факторов косми-

ческого полета, особенно к невесомости.

Изучению хода эмбрионального развития в невесомости посвящены также исследования на 60 яйцах японского перепела, проведенные специалистами СССР и ЧССР при участии специалистов США. Необходимые условия автоматически обеспечиваются внутри бортового инкубатора, созданного в ЧССР.

Изучение процессов теплообмена в невесомости проводилось с помощью прибора, созданного в ЧССР.

Цель эксперимента «Гравитационная преференция» — определить величину силы тяжести, которую предпочитают животные для жизни и развития своего потомства. Различная сила тяжести создается в небольшой центрифуге с четырьмя тоннелями из прозрачного материала. В центре прибора, где при вращении ускорение остается равным нулю, помещаются плодовые мушки — дрозофилы. Вновь появившиеся дрозофилы, летя по тоннелям, выбирают по своему усмотрению любую из трех кормушек и мест для откладывания яиц, величина силы тяжести в которых составляет соответственно 0,2, 0,6 или 1,0 от земной. Эксперимент позволяет не только оценить влияние гравитации на живые организмы, но и определить ее эволюционное значение.

Специалисты США и СССР провели эксперименты с культурами растительных клеток с целью подтвердить полученные в предыдущих космических полетах данные о способности изолированных соматических клеток растений к нормальному развитию в невесомости от эмбриона до взрослого организма, а также исследовать интенсивность обмена веществ в опухольных растительных клетках.

Советско-французский радиобиологический эксперимент «Биоблок» продолжил начатые в полетах предыдущих

биоспутников исследования радиационной опасности для организма тяжелых ядер галактического космического излучения¹. В радиационно-физических исследованиях было продолжено изучение электростатической защиты от воздействия заряженных частиц космического происхождения.

14 октября 1979 г. после 19-суточного полета «Космос-1129» возвратился на Землю. В месте посадки, в оперативно развернутой полевой лаборатории были проведены первые исследования находящихся на борту биологических объектов. После предварительной оценки полученных результатов часть материала поступила в научные лаборатории стран-участниц эксперимента.

С. А. Никитин
Москва

Космические исследования

«Вертикаль-8»

26 сентября 1979 г. в 6 ч 20 мин по московскому времени с территории Европейской части СССР в средних широтах произведен запуск на высоту 505 км геофизической ракеты «Вертикаль-8» с научной аппаратурой ПНР, СССР и ЧССР. Цель запуска — продолжение комплексных исследований в рентгеновском диапазоне излучения солнечной короны и активных процессов в ней в период максимума 11-летнего солнечного цикла: изучение тонкой структуры корональных выбросов и связь этих структур с магнитными полями и нижележащими образованиями в хромосфере; определение

¹ Аков И. Г. Проблемы космической биофизики. — «Природа», 1977, № 12.



Спускаемый контейнер «Вертикали-8» с научной аппаратурой после приземления.

Фото ТАСС.

физических параметров в области образования излучения (плотность горячей плазмы, температура, скорость движения, химический состав спокойной короны и спорадических мелко-масштабных областей повышенной яркости), а также поиск нетепловой компоненты в рентгеновском излучении активных областей. Эксперимент был проведен в период действия международной программы «Год солнечного максимума» и скоординирован с наземными оптическими и радионаблюдениями Солнца.

Специалисты ПНР и ЧССР разработали зеркальный рентгеновский телескоп с фотографической регистрацией. С его помощью в мягкой рентгеновской области спектра (5—20 Å) получено несколько снимков солнечной короны.

Специалистами СССР и ЧССР разработан другой зеркальный рентгеновский телескоп с телевизионной регистрацией, с помощью которого исследовалась тонкая структура активных областей на Солнце, внезапно появляющиеся яркие рентгеновские точки, а также динамика развития рентгеновской вспышки.

Для фотографирования солнечной короны в области

мягкого рентгеновского излучения (2—20 Å) польские исследователи изготовили многоканальный блок из 60 камер-обскур. Получено около 60 снимков солнечной короны. Кроме того, специалисты ПНР разработали широкополосный рентгеновский фотометр для измерения потока солнечного излучения в диапазоне 2—12 Å.

Два новых спектрометра, разработанные специалистами СССР и ПНР, позволили получить с высоким разрешением в диапазоне 5—10 и 10—30 Å спектры отдельных областей на Солнце и определить с высокой точностью температуру и плотность плазмы в корональных конденсациях, а также измерить линии отдельных элементов холодных и более горячих рентгеновских областей на Солнце.

Советские специалисты изготовили спектрогелиограф для измерения интенсивности рентгеновского излучения в диапазоне 2—20 кВ.

Вся научная аппаратура была размещена на стабилизированной платформе, осуществляющей наведение оптических осей приборов на центр солнечного диска с точностью лучше 10" в течение всего полета ракеты. Этот комплекс вместе с платформой заключен в спускаемый контейнер, крышка которого открывалась на восходящем участке траектории, когда начинала работать научная аппаратура. Перед возвра-

щением в атмосферу на высоте 95 км крышка закрывалась, спускаемый контейнер отделялся от ракеты и с помощью парашютной системы мягко приземлялся.

В эксперименте на «Вертикали-8» апробировалась рентгеновская аппаратура нового поколения, которая найдет широкое применение на солнечных внеатмосферных обсерваториях серии «Интеркосмос» и геофизических ракетах типа «Вертикаль».

Л. А. Ведешин
Москва

Космические исследования

Спутник «Интеркосмос-20»

«Интеркосмос-20»

Запущенный 1 ноября 1979 г. спутник «Интеркосмос-20» предназначен для отработки методов комплексного изучения Мирового океана и поверхности Земли, а также системы автоматического сбора научной информации с морских и наземных станций. Аппаратура спутника создана специалистами ВНР, ГДР, СРР, СССР и ЧССР.

Одна из основных задач «Интеркосмоса-20» — летные испытания системы сбора информации, принимающей с наземных платформ и морских буев геомагнитные, океанологические, гидрологические, метеорологические и другие данные и передающей их затем на центральную наземную станцию и наземные станции стран-участниц эксперимента.

Каждая наземная платформа или морской буй состоит из двух частей: унифицированного радиотерминала с блоком памяти и комплекта измерительных приборов, состав которых зависит от поставленной задачи и может меняться. Система способна не просто принимать информацию от наземных платформ и морских буев, но и выдавать им команды на изменение режима работы, переключение на резервный комплект измерительных приборов и т. д.

С помощью «Интеркосмо-

са-20» предполагается находить с орбиты район повышенной биопродуктивности, а также загрязнений в океане, определить оптическую толщину атмосферы в различных спектральных диапазонах, провести картографирование береговой линии и границ ледовых полей, получить данные о температуре поверхности Мирового океана, выявить метеорологические условия в опасных районах, характеризующихся частыми штормами и ураганами, исследовать пространственно-временные изменения геомагнитного поля путем сопоставления результатов наземных и спутниковых измерений.

Для решения этих задач на спутнике установлены многоканальный спектрофотометр МКС, предназначенный для измерения абсолютного значения яркости восходящего излучения (отраженного солнечного и собственного излучения Земли) в спектральной области 415—765 нм, радиометр Р-225 для измерения интенсивности суммарного теплового излучения атмосферы и поверхности Земли в области длины волны 2,25 см и трехкоординатный магнитометр СГ-Р для измерений интенсивности магнитного поля Земли вдоль орбиты.

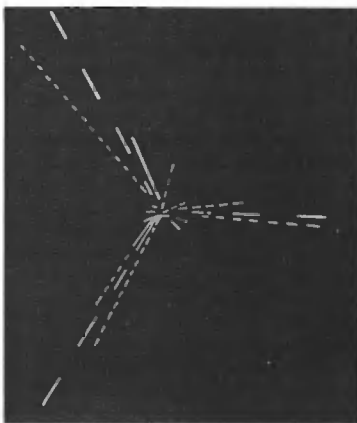
Одновременно со спутником приступили к работе в открытом море научно-исследовательские суда.

С. А. НИКИТИН
Москва

Физика

Открытие глюона

В августе 1979 г. в Чикаго на Международной конференции по лептонным и фотонным взаимодействиям были сообщены новые экспериментальные данные по e^+e^- -аннигиляции, полученные на ускорителе ПЕТРА в ФРГ¹. По мнению участников конференции, дан-



Три адронные струи, наблюдающиеся в e^+e^- -аннигиляции при энергии 32 ГэВ в системе центра масс; данные детектора ПЛУТО ускорителя ПЕТРА.

ные, содержащиеся в докладах К. Бергера (детектор ПЛУТО), Г. Ньюмана (детектор МАРК J) и Г. Вольфа (детектор TACCO), можно трактовать как открытие одной из фундаментальных составляющих материи — глюона.

Согласно современным взглядам, отдельно взятые глюоны и кварки как самостоятельные объекты могут существовать только внутри адрона и, по-видимому, принципиально невозможно «вытащить» их из адрона на макроскопическое расстояние².

Тем не менее экспериментаторы, работающие на ускорителе ПЕТРА, сообщают об открытии глюонов (существование кварков уже давно считается установленным). Для объяснения ситуации напомним, что мы давно уже воспринимаем фундаментальные физические явления не непосредственно, а сквозь призму теории. Даже наблюдение таких хорошо известных частиц, как электроны и протоны, осуществляется с помощью известных макроскопических явлений, которые, согласно нашим знаниям, эти частицы должны вызывать. Например, мы говорим о пролете элементарной частицы большой энергии, наблюдая пузырьки кипения

жидкости в пузырьковой камере. Аналогично вывод о существовании кварков или глюонов мы делаем на основе тех явлений, которые они, согласно теории, должны вызывать в мире адронов; так, характерный пример — возникновение адронных струй в e^+e^- -аннигиляции при высоких энергиях. Считается, что e^+e^- -аннигиляция в адроны происходит следующим образом: пара e^+e^- превращается в виртуальный фотон, который затем рождает пару кварк — антикварк. Свободный разлет кварков на большие расстояния невозможен — для этого из-за роста цветового взаимодействия пришлось бы совершить бесконечно большую работу. В действительности теория предсказывает, что при разлете должны рождаться новые пары кварков, которые будут нейтрализовать цветовой заряд и формировать обычные адроны. Образующиеся при этом адроны высоких энергий должны вылетать в виде двух противоположно направленных струй. Такие двухструйные события уже обнаружены экспериментально; их характеристики хорошо согласуются с предсказаниями теории.

Однако пара кварк — антикварк, образующаяся при e^+e^- -аннигиляции, может испустить тормозной глюон, аналогично тому, как заряженные частицы испускают тормозные фотоны. (В электродинамике такие процессы хорошо известны; по-существу, это просто образование излучения током родившейся частицы.) Если энергия тормозного глюона достаточно высока, он образует свою собственную адронную струю, и, таким образом, в опыте при достаточно большой начальной энергии сталкивающихся частиц должны наблюдаться трехструйные события. Именно такие события и были обнаружены в экспериментах на ПЕТРА. Эти результаты можно рассматривать как первые фотографии глюонов, полученные при энергии около 30 ГэВ в системе центра масс (т. е. энергия каждого из сталкивающихся пучков составляла 15 ГэВ). Однако количество фотографий, на которых явно различаются три адронные струи, пока относительно

¹ Подробнее об этом ускорителе см.: «Природа», 1979, № 7, с. 106.

² См. в этом номере: Шелтер В. М. Кварки.

невелико — порядка десяти в каждом эксперименте. Впрочем, это находится в соответствии с ожиданиями теории, так как глюоны, аналогично тормозным фотонам, преимущественно вылетают в том же направлении, в котором движется заряженная (цветная) частица. Поэтому адронные струи, рожденные кварком и глюоном, движущимся в близком направлении, в значительной степени перекрываются, образуя одну, но более широкую струю. В итоге экспериментально наблюдаемое событие выглядит, как узкая адронная струю, рожденная кварком, и более широкая, противоположно направленная струю, рожденная кварком и близко летящим глюоном. В частности, такой механизм приводит к росту среднего значения поперечного импульса относительно оси струи при возрастании энергии. В экспериментах на всех трех детекторах ПЕТРА измерялись распределения по поперечному импульсу; они находятся в хорошем согласии с расчетами, выполненными в рамках квантовой хромодинамики с учетом тормозного излучения глюонов. Струя, рожденная кварком, должна быть симметрична в плоскости, перпендикулярной оси струи, а поперечное сечение струи, рожденной кварком и близко летящим глюоном, имеет не круговую, а сплюснутую форму. Именно такая картина и наблюдалась в эксперименте — узкие струи имели малую сплюснутость, а широкие — большую. При обработке суммарных данных (в каждом эксперименте фиксируется несколько сотен событий) получено хорошее совпадение с теоретическими предсказаниями, сделанными на основе гипотезы тормозного излучения глюонов, и, напротив, не удалось получить согласия экспериментальных данных с чисто кварковой картиной. Кроме этого, существует большое количество не столь прямых опытных данных, качественно согласующихся с гипотезой существования кварков и глюонов.

Таким образом, в настоящее время можно с уверенностью говорить, что кварки и глюоны эксперименталь-

но обнаружены, хотя непосредственно мы их не видели и, возможно, не увидим никогда.

А. Д. Долгов,
кандидат физико-математических наук
Москва

Физика

Сжатие водорода с помощью пинч-эффекта

В Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова разработан метод изэнтропического (адиабатического) Z-пинча, позволяющий создавать давления порядка мегабара при сжатии водорода в условиях относительно малого нагрева и дающей реальную возможность получить металлический водород¹.

Суть метода заключается в пропускании вдоль оси Z металлической трубки, содержащей водород, импульса тока от конденсаторной батареи. Взаимодействие тока с собственным магнитным полем (магнитное давление) приводит к сжатию трубки (так называемой Z-пинч). Если параметры электрического разряда таковы, что возникающее магнитное давление значительно превышает давление водорода, то сжатие трубки вначале происходит ускоренно. По мере роста давления в водороде сжатие трубки замедляется и его кинетическая энергия переходит во внутреннюю энергию сжимаемого вещества. Давление внутри сжимаемого водорода на этом этапе резко возрастает, превосходя магнитное. Для реализации изэнтропического процесса сжатия необходимо, чтобы скорость фронта сжатия не превышала скорости звука в водороде, иначе внутри трубки развиваются ударные волны. Необходимый режим сжатия

достигался подбором оптимальных параметров трубки, электрической цепи и начального состояния водорода.

Полученное в ходе эксперимента давление водорода составило ~200 кбар (относительная ошибка 30%) при максимальном магнитном давлении 50 кбар. Начальная температура газообразного водорода 80 К; длительность разряда 5 мкс; трубка изготовлена из меди.

«Письма в ЖЭТФ», 1979, т. 29, вып. 1, с. 33.

Физика

Новый метод лазерного разделения изотопов

Новый вид диффузии в газах открыли Ф. Х. Гельмуханов и А. М. Шалагин (Институт автоматики и электрометрии СО АН СССР). Они теоретически предсказали, а затем подтвердили экспериментально, что освещение резонансным лазерным излучением смеси неактивного буферного газа и активного газа, атомы которого интенсивно поглощают лазерное излучение, приводит к возникновению диффузии активных атомов. Направление диффузионного потока определяется разницей (расстройкой) между частотой лазерного излучения и частотой атомного перехода из основного в возбужденное состояние. Если эта разница больше нуля, атомы диффундируют навстречу световому потоку, при отрицательной расстройке диффузия протекает в обратном направлении. Согласно теоретическим оценкам, скорость диффузии может составлять одну десятую от средней тепловой скорости поглощающих атомов, а диффузионная сила на несколько порядков превышает силу светового давления и позволяет собирать активные атомы со всего объема в слой толщиной ~0,1—1 мм.

Эффект обуславливается асимметрией функции распределения по скоростям поглощающих атомов, а также трением со стороны буферного газа. Функция распределения

¹ Для получения металлического водорода необходимо давление в несколько мегабар.

по скоростям возбужденных атомов отклоняется от симметричного максвелловского распределения в сторону положительных скоростей, а соответствующее распределение для невозбужденных атомов — в сторону отрицательных скоростей (ось скоростей направлена навстречу световому потоку). В результате этой деформации функций распределения возникают два равных по величине и противоположно направленных потока активных атомов: возбужденные поглощающие атомы диффундируют навстречу излучению, невозбужденные атомы перемещаются в обратном направлении. Однако, поскольку сечение столкновения возбужденного атома с атомами буферного газа больше аналогичной величины для невозбужденного атома, сила трения между буферным газом и потоком возбужденных активных атомов больше этой величины для противоположного потока невозбужденных атомов. Суммарный поток атомов становится, в результате, отличным от нуля и направлен навстречу излучению.

Эффект наблюдался для паров натрия при давлении 10^{-8} — 10^{-9} бар в смеси с гелием или неоном (буферный газ) при давлении $4 \cdot 10^{-2}$ бар. Смесь освещалась светом лазера на красителе мощностью 20 мВт и частотой, перестраиваемой в окрестности D-линий натрия (5896 Å и 5890 Å). В зависимости от величины расстройки пары натрия собирались то в одном конце кюветы, то в противоположном.

По мнению авторов, эффект можно будет применить для разделения изотопов.

«Письма в ЖЭТФ», 1979, т. 29, с. 773; т. 30, № 5, с. 262; «ЖЭТФ», 1979, т. 77, № 2 (8), с. 461.

Физика

Индукированная током оптическая активность теллура

Специалисты Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР и Ленинградского политехнического

института им. М. И. Калинина обнаружили дополнительную к естественной оптическую активность теллура: при пропускании через монокристалл тока параллельно оптической оси c_2 наблюдался поворот на добавочный отрицательный угол плоскости поляризации света, распространявшегося в том же направлении, что и ток. При плотности тока 700 А/см^2 величина угла поворота оказалась равной $(-2,5 \cdot 10^{-2})$ рад.

В основе этого явления, а также обратного ему фотогальванического эффекта¹ лежит особенность строения кристалла теллура: его атомы образуют в пространстве параллельные между собой спиральные цепочки. Направление обхода каждой такой спирали составляет с направлением ее оси (c_2) правовинтовую систему. Вследствие спирального расположения атомов носители заряда (электроны и дырки), перемещающаяся по кристаллу вдоль оси z (координатная ось z направлена вдоль оси c_2), вращаются вокруг осей спиралей. При этом электроны проводимости с импульсом поступательного движения $p_z > 0$ обладают вращательным моментом, проекция которого на ось z равна $+\hbar/2$. Валентные электроны с тем же импульсом имеют проекцию момента, равную $+3\hbar/2$. При изменении направления поступательного движения на противоположное, меняется и знак проекций моментов. Если ток идет в направлении $+z$, электроны движутся в противоположном направлении и z -проекции их моментов в зоне проводимости и валентной зоне равны $(-\hbar/2)$ и $(-3\hbar/2)$ соответственно.

Падающая на кристалл плоскополяризованная световая волна всегда может быть представлена суммой равных долей волн с правой и левой круговыми поляризациями. У фотонов правой поляризации z -проекция собственного механического момента (спина) равна $+\hbar$, с левой поляризацией — $\hbar$. Когда направление

электрического тока и световой волны совпадают (скажем, и ток и волна направлены в направлении $+z$), в кристалле имеется избыток электронов с указанными выше проекциями моментов, и в силу закона сохранения полного момента с большей вероятностью поглощаются превращающие фотоны с моментом $+\hbar$. В результате баланс поляризации нарушается, и плоскость поляризации световой волны поворачивается влево на отрицательный угол.

Открытые эффекты имеют большое значение для физики твердого тела, так как связывают кристаллическую и электронную зонную структуру теллура с непосредственно наблюдаемыми на опыте величинами (поляризацией, эдс). Несомненно также, они найдут применение и в физической оптике, оптоэлектронике и др.

«Письма в ЖЭТФ», 1979, т. 29, вып. 8, с. 485.

Физика

Ядро ^{16}O имеет форму тетраэдра

До сих пор считалось, что ядро кислорода ^{16}O сферично. Однако недавно Д. Робсон (Университет штата Флорида, США) доказал правоту Д. Деннисона, еще в 1940 г. предположившего тетраэдральную структуру этого ядра¹. Согласно Деннисону, в вершинах тетраэдра, на расстоянии $1\frac{1}{2}$ ферми² от его центра тяжести располагаются четыре α -кластера, представляющих собой слипшиеся два протона и два нейтрона. Вне ядра каждый такой кластер является ядром ^4He , т. е. α -частицей.

Расчеты, проведенные недавно Робсоном, показали, что α -кластеры в ядре кислорода также имеют скорее тетраэдральную, чем сферическую форму. Нуклоны в α -кластере

¹ «Physical Review», 1940, v. 57, p. 454.

² Ядерная единица длины, $1 \text{ ферми} = 10^{-13} \text{ см}$.

¹ О фотогальваническом эффекте см.: «Природа», 1979, № 4, с. 107.

расположены на расстоянии $\sim 0,98$ ферми от его центра тяжести, что составляет половину расстояния между центрами кластера и тетраэдра.

Чтобы показать, что ядро ^{16}O действительно имеет форму тетраэдра, Робсон сопоставил теоретические значения параметра, характеризующего распределение электрического заряда в ^{16}O (так называемый зарядовый форм-фактор), с его значениями, полученными в экспериментах по неупругому рассеянию быстрых электронов на ^{16}O . Предполагалось, что ядро ^{16}O имеет вид тетраэдра с указанными выше параметрами и что неупругие соударения электронов с ядром приводят его во вращение без возбуждения колебательных степеней свободы. Оказалось, что при энергии возбуждения ядра не больше 30 МэВ теория Деннисона — Робсона хорошо согласуется с экспериментом, причем два первых возбужденных состояния ^{16}O энергиями 6,13 МэВ и 10,35 МэВ, действительно, являются не колебательными, а вращательными с квантовыми числами момента количества движения, равными 3 и 4 соответственно.

«*Rhyical Review Letters*»
1979, v. 42, № 14, p. 876 (США).

Биохимия

Продление действия белковых лекарственных препаратов

Трудности лечения препаратами белковой природы обусловлены, как известно, их отторжением иммунной системой организма. Продлить действие белковых лекарств и поддерживать высокий уровень их концентрации в организме можно с помощью химической модификации белков, т. е. получения таких производных, которые «не узнаются» иммунной системой и потому намного дольше удерживаются в организме.

Из многих известных в настоящее время способов модификации наиболее перспективно

связывание белков с полисахаридами. Именно так Н. Ф. Казанская, Н. И. Ларионова, И. Ю. Сахаров (химический факультет МГУ) получили лекарственные препараты на основе панкреатического ингибитора, широко используемого при лечении острого панкреатита, ожогов, шоков и ряда других болезней.

Панкреатический ингибитор — белок, подавляющий патологические процессы в организме, — выделяется из поджелудочной железы крупного рогатого скота. Молекула ингибитора имеет грушевидную форму. В вершине «груши» находится активный центр — аминокруппа лизина. Взаимодействие этой аминокруппы с трипсином обуславливает ингибирующее лечебное действие препарата. Обычно 50% природного ингибитора, введенного внутривенно, выводится из кровотока примерно за 10 мин.

В обычных схемах связывания белков с полисахаридами их аминокруппы вовлекаются в химические реакции. Это приводит к потере терапевтических свойств панкреатического ингибитора. Введение дополнительной реакции, блокирующей аминокруппу лизина на время сшивания белка с молекулами полисахарида, позволило получить модифицированный панкреатический ингибитор, полностью сохранивший биологическую эффективность.

Помимо производных панкреатического ингибитора, содержащих полисахарид — декстран, были получены биологически активные модификации на основе другого полисахарида — карбоксиметилцеллюлозы. Оказалось, что в этом случае стадию блокирования аминокруппы можно опустить. Кулоновское притяжение отрицательно заряженных карбоксильных групп карбоксиметилцеллюлозы и положительно заряженных аминокрупп белка приводит к блокированию NH_2 -группы лизина в молекуле панкреатического ингибитора. Вследствие этого биологически активная аминокруппа не участвует в процессе сшивания белка с молекулами полисахарида и препарат сохраняет лечебную эффективность. Карбоксиметилцеллю-

лоза обеспечивает максимальную степень связывания белка с образованием термостойкой водорастворимой модификации ингибитора.

Время удержания полученных модификаций в организме в 10 раз дольше, чем у природного белка. Их применение в полтора раза увеличило выживаемость собак при лечении у них острого панкреатита.

«*Биохимия*», 1979, т. 44,
№ 2, с. 350.

Биохимия

Функции вакуолей растительных клеток

До сих пор считалось, что вакуоли являются местом отложения солей и различных побочных продуктов обмена веществ в растительной клетке; образно говоря, они играют роль «санитаров» клетки. Другие функции вакуолей были неизвестны и не поддавались изучению, вследствие невозможности выделить неповрежденные и незагрязненные другими компонентами клетки вакуоли. Тем не менее предполагалось, что вакуоль должна играть активную роль в обмене веществ¹.

Недавно Н. Нишимура и Г. Биверс (Калифорнийский университет, США) разработали метод, позволивший выделять неповрежденные вакуоли. Благодаря этому удалось показать, что, например, вакуоли из эндосперма прорастающих семян клеверины содержат до 25% от всего количества белка в клетке, 62% сахарозы и различные гидролитические ферменты: кислотную протеазу, карбоксипептидазу, фосфодиестеразу, ДНК-азу и β -галактозидазу. Вакуоли отсутствуют в сухих семенах, но там содержатся белковые тела — отложения запасенных белков. При прорастании семян наружный слой белковых тел растворяется в воде, в результате формируются капельки, содержащие остатки белковых

¹ Matile P. «*Ann. Rev. Plant Physiol.*», 1978, № 29, p. 193.

тел. Эти капельки сливаются, образуя большую центральную вакуоль, в которой быстро исчезают остатки белковых тел. В белковых телах сухих семян содержится 20%, а в вакуолях — до 50% растворимых белков (от общего количества белков в этих органеллах). Удалось установить, что в вакуолях, выделенных из эндосперма четырехдневных проростков клешиины, исчез белок с молекулярной массой 60 000 — основной компонент белковых тел — и появлялись белки с меньшей молекулярной массой, т. е. происходил протеолиз. Во время инкубации изолированных вакуолей при 37° С в них увеличивалось содержание свободных аминокислот — конечных продуктов протеолиза белков. Так было получено первое экспериментальное свидетельство протеолитической функции вакуолей.

Кроме того, как установили Т. Болдер и Х. Кенде (Мичиганский университет, США), в вакуолях, выделенных из клеток табака, лепестков тюльпана и листьев ананаса, содержатся многие гидролитические ферменты. Это подтверждает гипотезу о том, что вакуоли играют в растительной клетке ту же роль, что лизосомы в животной клетке.

«Plant Physiology», 1978, № 62, p. 44—48 (США); «Nature», 1979, v. 277, № 5695, p. 412—413 (Великобритания); «Plant Physiology», 1979, № 63, p. 1123—1132 (США).

Биохимия

Внутриклеточный обмен симбионта зависит от экологии хозяина

Английские исследователи Дж. Дженнингс и У. Лефлор изучали два вида прямокишечной турбеллярии — симбионтов двусторчатых моллюсков. Гистохимическим методом они установили экологическую обусловленность различной ферментативной активности тканей этих турбеллярий.

Прямокишечная турбел-

лярия (ресничный червь) *Paracortex cardii* живет в качестве симбионта в пищеварительной системе двусторчатого моллюска *Cerastoderma edule*. Этот моллюск обитает на уровне морского отлива в песке отлогих участков побережья Великобритании в Северном море. Почти постоянно он погружен в хорошо аэрированную морскую воду и его ткани обильно снабжаются кислородом. Как установили исследователи, у живущей в симбиозе с этим моллюском турбеллярии ферменты окислительного цикла Кребса (сукцинатдегидрогеназа, малатдегидрогеназа и изоцитратдегидрогеназа) обладают высокой активностью. Столь же высока активность ферментов пентозофосфатного цикла (глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы, 6-фосфоглюконатдегидрогеназы), обеспечивающего во всех тканях и органах эмбрионов *Paracortex cardii* нормальное течение разнообразных синтетических процессов, включая синтез нуклеиновых кислот. В противоположность этому, активность важнейшего фермента гликолиза (процесса анаэробного расщепления углеводов) — лактатдегидрогеназы, а также ферментов, катализирующих вспомогательные реакции гликолиза (α -глицерофосфатдегидрогеназы, алкогольдегидрогеназы) в организме *Paracortex cardii* весьма мала.

Другая прямокишечная турбеллярия — *Paracortex scrobiculariae* живет в пищеварительной системе двусторчатого моллюска *Scrobicularia plana*, распространенного в плотном грунте илистых отмелей эстуария р. Эск, впадающей в Северное море. Обитая на уровне прилива, этот моллюск погружается в аэрированную воду лишь на короткий срок и столь же недолго имеет свободный доступ к кислороду. В остальное время створки его раковины плотно закрыты и поступление кислорода в организм резко ограничено. У симбионта этого моллюска активность ферментов гликолиза гораздо выше, чем у *Paracortex cardii*. По активности ферментов цикла Кребса и пентозофосфатного цикла обе изученные турбеллярии существенно между собой не различаются.

Экологическая и физиологическая обусловленность различной интенсивности гликолиза в тканях и органах у *Paracortex cardii* и *Paracortex scrobiculariae* не вызывает сомнений, поскольку этот процесс может протекать в отсутствие кислорода или при его низком парциальном давлении. Следует подчеркнуть, что все данные получены авторами на моллюсках, которые после отлова сравнительно долго содержались в одинаковых условиях в сосуде с циркулирующей морской водой, что придает этим результатам особенно убедительное значение.

«Comparative Biochemistry and Physiology», 1979, B 62, № 4, p. 301—304 (Великобритания).

Психология

Внимание у младенцев

Когда полугодовалый ребенок смотрит на экран телевизора, его поведение не столь бессмысленно, как может показаться на первый взгляд. К такому выводу пришли психологи А. Холленбек и Р. Слейби (Вашингтонский университет, США).

Они фиксировали длительность внимания шестимесячного ребенка к включенному телевизору в следующих ситуациях: при наличии изображения и звука; при наличии только изображения либо только звука; в контрольной ситуации — сочетание звука с «абстрактным» изображением, состоящим из мелькающих точек и полос.

Оказывается, дети дольше всего смотрят на экран, если изображение сочетается со звуком. Несколько меньше, если звука нет. Еще короче внимание ребенка при наличии одного лишь звука, а также в контрольной ситуации. Таким образом, основным фактором, привлекающим внимание ребенка к телевизору, является наличие «содержательного», и не «абстрактного» изображения.

«Child Development», 1979, v. 50, № 1, p. 41 (США).

Цитология

Циклическая РНК в цитоплазме эвкарриот

Впервые циклические формы молекул РНК были обнаружены разными исследователями в экстрактах РНК из геномов некоторых вирусов. Недавно американские специалисты из Рокфеллеровского университета М. Хсу и М. Кока-Прудос выявили такие формы в цитоплазме эвкарриотических клеток из культуры Hela, из клеток почек обезьяны, клеток яичников китайского хомячка и клеток миксомицета (слизевика) *Physarum polycephalum*.

РНК экстрагировали из цитоплазмы клеток; затем монослой молекул помещали на специальные сеточки и после напыления тяжелыми металлами просматривали в электронном микроскопе. Чаще всего наблюдавшиеся циклические РНК имели вид «двуручковых чаш». Обнаружить циклические РНК удавалось даже после обработки в

сильно разрушающей среде (например, после обработки в буферном растворе с содержанием формамида до 92% в РНК из цитоплазмы клеток Hela сохранилось до 1—2% циклических молекул).

В небольшом количестве циклические РНК были найдены также во фракции поли-А из цитоплазмы клеток Hela и в РНК из ядер этих клеток.

Авторы считают, что циклические РНК не могли быть образованы простым перекручиванием молекул в процессе их выделения. Это подтверждается тем, что среди молекул РНК, выделенных ими аналогичным образом из вирусов гриппа, и рибосомных РНК из цитоплазмы клеток Hela циклических форм не обнаружено.

Происхождение и биологическая роль циклических РНК пока неясны.

«Nature», 1979, v. 280, № 5720, р. 339—340 (Великобритания).

Зоология

Дельфины выбрасываются на берег

13 июля 1979 г. в гавань городка Пуэнт-о-Голь на п-ове Быриния (провинция Ньюфаундленд, Канада) вошло стадо дельфинов гринд (*Globicephala melaleuca*), насчитывавшее около 135 голов. Разбившись на две группы, они расположились примерно в 1,5 км друг от друга, вслед за чем первая группа численностью до 100 животных начала выбрасываться на берег¹. Через 6 часов за ней последовала вторая группа. К ночи 15 июля все дельфины были мертвыми.

Прибывшая на место трагедии группа биологов причины ее не установила. Вскрытие показало, что большинство животных было беременными самками (соотношение самок и самцов в обеих группах примерно

2:1). Часть погибших самок были кормящими, с ними выбрасывались и детеныши. Взрослых самцов оказалось лишь несколько. Все животные были осмотрены (размеры тела взрослых особей — от 2 до 5,5 м) и сфотографированы. Снимки и образцы тканей взяты для изучения.

Утром 15 июля еще одна группа дельфинов гринд численностью в 30—40 голов попыталась выбраться на сушу, но они были отогнаны в открытое море усилиями местных рыбаков и биологов.

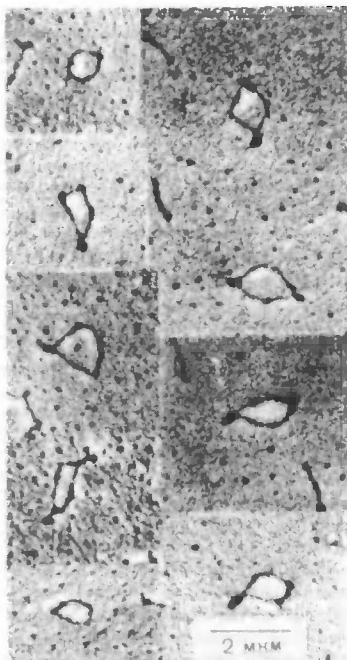
«Smithsonian Institution SEAN Bulletin», 1979, v. 4, № 7, p. 23 (США)

Зоология

Жабры форели под электронным микроскопом

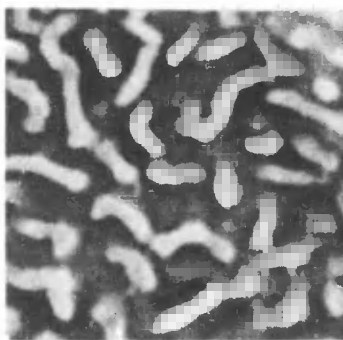
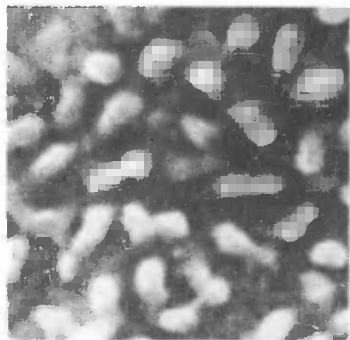
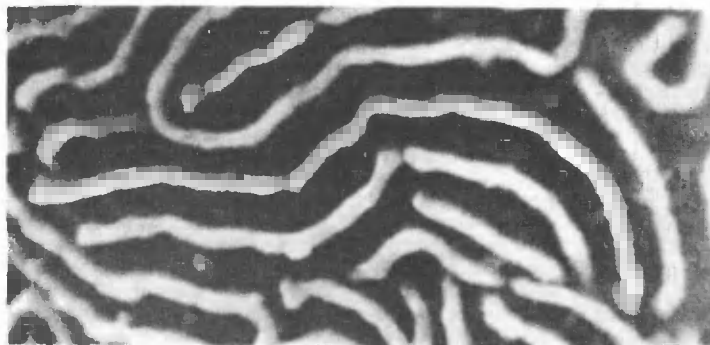
Изучая жаберный аппарат форели (*Salmo gairdneri*) под сканирующим электронным микроскопом, английский зоолог Г. М. Хьюгс (Бристольский университет) обратил внимание на неоднородность поверхности вторичных жаберных пластинок. Эпителиальные клетки, выстилающие эти образования, формировали не только длинные изогнутые микробороздки, как у первичных жаберных пластинок, но и многочисленные микроворсинки — тонкие выросты цитоплазмы, разные по высоте. Особенно четкое изображение этих структур исследователю удалось получить при фиксации материала 25-процентным глутаральдегидом, что позволило почти полностью освободиться от слоя слизи, покрывающего жаберные пластинки и маскирующего архитектуру их эпителиальной поверхности.

Оказалось, что распределение бороздок и ворсинок на поверхности вторичной жаберной пластинки подчиняется определенной закономерности, характерной для всех пластинок этого порядка. Так, у основания пластинок, а также на переднем и заднем ее концах эпителиальные клетки формируют только бороздки. В ее центральных участках бороздки укорачиваются и постепенно сменяются



Электронные микрофотографии монослоя молекул РНК, экстрагированных из цитоплазмы клеток Hela.

¹ О других аналогичных случаях см.: Яблоков А. В. Загадка самовыбрасывания дельфинов. — «Природа», 1977, № 8.



Фрагменты поверхностей эпителиальных клеток, выступающих разные участки вторичной жаберной пластинки форели: сверху — основание пластинки, где имеются только микробороздки [увел. в 18 000 раз]; слева внизу — верхушка пластинки, где преобладают микроворсинки [увел. в 19 500 раз]; справа внизу — центральная часть пластинки, где имеются и микроворсинки и микробороздки [увел. в 19 500 раз].



Эпителиальная поверхность вторичной жаберной пластинки форели с микробороздками. В услублениях между клетками видны остатки слизи [увел. в 6000 раз].

ворсинками, преобладающими в верхней части пластинки. Такое распределение бороздок и ворсинок на респираторной поверхности вторичной жаберной пластинки, очевидно, создает наиболее благоприятные условия для дыхательной функции жаберного аппарата форели, обитающей в водах с быстрым течением. Выросты и складки эпителиальных клеток не только удерживают слизь, уменьшающую трение воды о поверхность, но и значительно увеличивают свободную площадь респираторного эпителия, омываемого водой. Ворсинки имеют большую площадь поверхности, чем бороздки, и преобладают в верхних участках вторичной жаберной пластинки, т. е. там, где сеть кровеносных капилляров наиболее развита и происходит самый интенсивный газообмен. Кроме того, для потока воды, омывающего жабры, высокие микроворсинки представляют большее препятствие, чем низкие микробороздки, и, следовательно, замедляют его, создавая условия для наиболее полного газообмена в этих участках.

Характерны ли выявленные особенности строения жа-

берных пластинок форели для других рыб, обитающих в быстрых водах, пока не установлено.

«Journal of Zoology», 1979, v. 188, p. 443—453 (Великобритания).

7

Зоология

Несовершенный эхолокатор гуачаро

Ареал птицы гуачаро (*Steatornis caripensis*) охватывает Центральную Америку и крайний север Южной, а также о-в Тринидад. Гуачаро родственна известному в Европе козодою (*Caprimulgus europaeus*), но, в отличие от него, питается тропическими фруктами, а гнездится в пещерах. Это последнее обстоятельство привело к возникновению у гуачаро способности ориентироваться в полной темноте с помощью эхолокационного аппарата, подобного существующему у летучих мышей.

До сих пор считалось, что острота локаций и у рукокрылых, и у гуачаро должна быть сходной. Однако недавние эксперименты, проведенные орнитологами М. Кониси и Э. Кнудсеном (Калифорнийский технологический институт в Пасадене, США), опровергли это предположение.

В глубине большой пещеры на о-ве Тринидад были развешены на тонких нитях десятки пластмассовых дисков различного диаметра. Вспугнутые гуачаро наткнулись в полете на все те диски, диаметр которых не превышал 35 см. Изучение физических свойств эхолокационного аппарата этой птицы показало, что длины волн звукового сигнала лежат в диапазоне 1,5—2,5 кГц, т. е. он доступен даже не слишком совершенному слуховому аппарату человека. Эхолокация же у летучих мышей осуществляется на частоте около 50 кГц, следовательно со значительно лучшей разрешающей способностью, чем у гуачаро.

У гуачаро хорошее зрение, позволяющее им совер-

шать под открытым небом ночные полеты для кормежки. Но это свойство вряд ли может быть достаточно полезным в глубине больших пещер, во все лишенных света. Таким образом, остается предположить, что гуачаро в пещерах используют эхолокацию лишь для топографической ориентации, но не для ловли добычи. Или они выбирают пещеры, внутри которых нет препятствий?

«Science», 1979, v. 204, p. 425 (США).

Экология

Удаление метана желтыми кувшинками

Метан, образующийся в ходе анаэробного разложения органических остатков растительного происхождения на дне водоемов, обычно выводится в атмосферу в виде пузырьков или посредством диффузии в растворенной форме. Дж. Десей и М. Клуг (Мичиганский университет, США) обнаружили иной путь удаления метана со дна озера — желтыми кувшинками.

Желтая кувшинка, или кубышка (*Nuphar luteum* Sm.) — широко распространенное водное растение с желтыми цветками и розеткой плавающих на поверхности воды крупных овальных листьев, снабженных длинными черешками. На первых этапах своего развития листья погружены в воду. В донном или водоеме находятся горизонтальные ветвящиеся корневища с корнями. Такие корневища достигают нескольких метров длины и до 10 см в диаметре. Характерная черта анатомии кубышек, как и других водных растений, — наличие обширных полостей, в которых запасается кислород для дыхания частей растения, погруженных в воду.

Американские исследователи установили, что растворенный в придонном слое воды метан легко диффундирует в воздухоносные полости корневищ и корней кубышки, а затем эвакуируется через листья в ат-

мосферу. С помощью газовой хроматографии они обнаружили, что зимой, когда кубышки лишены листьев, состав газов в корневищах (CH_4 —37%, N_2 —54%, CO_2 —6%, O_2 —1%, H_2O —1% и Ar <1%) близок к газовому составу воды в придонном слое. Давление газов внутри полости корневища в этот период значительно выше атмосферного, приближаясь к гидростатическому давлению на уровне расположения корневища. В связи с этим весной наблю-



Пузырьки газа, содержащего метан, выделяются через погруженный в воду лист желтой кувшинки.

даются потоки пузырьков газа, которые выделяются с появлением первых листьев, еще погруженных в воду, через их верхушки. Состав газов в пузырьках соответствует составу газов в корневище (до 37% CH_4). После достижения листьями поверхности воды давление внутри воздухоносной полости корневища падает, а состав газов приближается к газовому составу воздуха в атмосфере. Обнаружено также, что давление и состав газов в полостях корневищ через двое суток после удаления листьев, плавающих на поверхности воды, снова может достигать значений, характерных для воды из придонного слоя.

Летом концентрация ме-

тана у кубышек колебалась от 10 до 0%, причем высокие значения отмечались на рассвете, низкие — в полдень. Скорость оттока метана через растения, наоборот, была наиболее высокой в полдень, достигая 10 мл/час в расчете на один лист, а затем к ночи снижалась в среднем до 1/5 от максимального значения в полдень.

Измерив скорость оттока метана через открытую поверхность воды и через поверхность воды с желтыми кувшинками, авторы рассчитали количество метана, выделенного водой и выведенного этими растениями. Оказалось, что свыше 75% всего выделяемого на исследуемом озере метана проходит через растения.

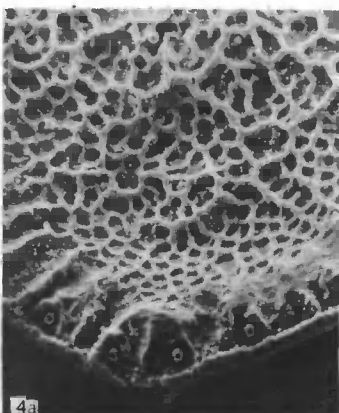
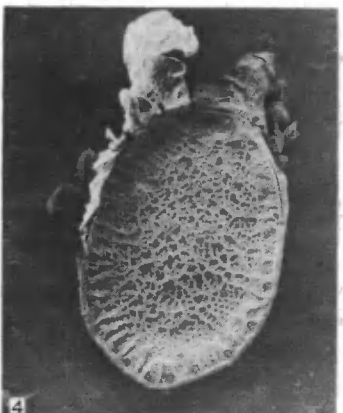
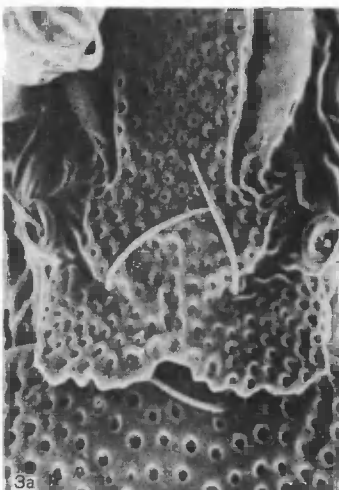
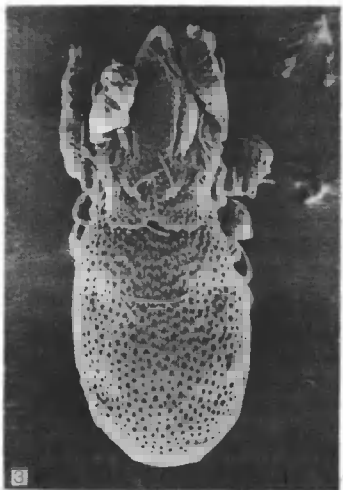
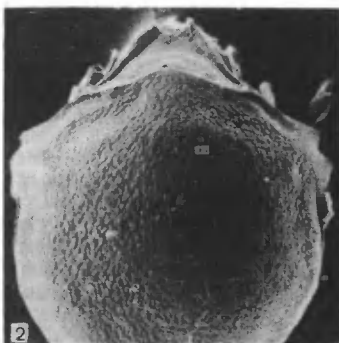
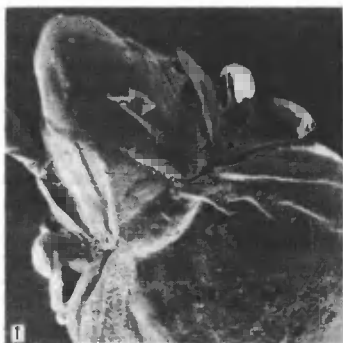
«Science», 1979, v. 203, № 4386, p. 1253—1254 (США).

Палеоэкология

Использование панцирных клещей в биостратиграфии

Участвуя в совместных почвеннозоологических исследованиях, которые проводятся Институтом эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР и Институтом леса Карельского филиала АН СССР, авторы изучили остатки панцирных клещей (орибатид) в торфах центральной Карелии.

Эта группа животных давно привлекает внимание палеоэкологов, так как орибатиды являются массовыми обитателями всех типов почв Земли, достигая численности в несколько десятков тысяч особей на 1 м², а их панцири надолго сохраняются в ископаемом состоянии. По спектру жизненных форм орибатид и набору видов довольно точно можно охарактеризовать каждый тип почвы, восстановить условия увлажнения, температурный режим, глубину почвенного слоя в прошлом. Особенно хорошо сохраняются орибатиды в торфах, где малочисленные бактерии, разлагающие хитиновые остатки беспозвоночных.



Ископаемые панцирные клещи из торфяных отложений Карелии под растровым электронным микроскопом: 1 — *Hydrozetes lacustris* [общий вид сверху]; 2 — *Limnozetes rugosior* [общий вид сверху]; 3 — *Nangermannia coronata* [общий вид сверху]; 3а — увеличенная передняя часть; 4 — *Cymbaeremaeus cymba* [общий вид сверху], 4а — хорошо сохранившийся участок панциря.

Хотя находки орибатид в торфяных отложениях Европы были известны с середины прошлого века и уже давно высказывались предположения, что по их остаткам можно судить о времени и условиях отложения торфа, этот важный для палеоэкологии и палеогеографии вопрос не получил раз-

вития, в частности, в связи с тем, что определять поломанные ископаемые остатки клещей в световом микроскопе оказывалось крайне трудно. С появлением растровой электронной микроскопии выяснилось, что стереоскан позволяет получать хорошие фотографии поверхностных структур панциря орибатид, используемых в таксономии, а также тотальные снимки объектов. Впервые этот метод с успехом был применен в Финляндии¹.

Специальных работ по орибатидам из ископаемых торфов в нашей стране до сих пор не проводилось, хотя их панцири постоянно встречаются при спорово-пыльцевом анализе, при поисках остатков насекомых и других микроскопических исследований торфа. Сейчас нами изучены остатки панцирных клещей из проб торфа, отобранных Л. С. Козловской в торфяниках южной Карелии. Возраст болот достигает 8 тыс. лет. Собранный материал — около 400 экземпляров 40 видов — был подготовлен для работы со стереосканом по обычной методике. Приводимые фотографии показывают, что даже у сильно поврежденных экземпляров, например утративших почти все щетинки, растровый электронный микроскоп позволяет рассмотреть многие структуры панциря, которые в ряде случаев достаточны для определения видовой принадлежности клеща.

Таким образом, применение техники стереоскана открывает большие возможности в изучении орибатид из торфов плейстоцена. Можно надеяться, что со временем панцирные клещи будут отнесены к так называемым «руководящим ископаемым» для торфяных отложений.

Д. А. Криволуцкий,
доктор биологических наук
А. Я. Друк, Л. М. Ласкова

Москва

¹Karppinen E., Korpunen M. — «Annales Entomologici Fennici», 1973, v. 39, № 1; 1974, v. 40, № 4.

Геология

66-й рейс «Гломара Челленджера»

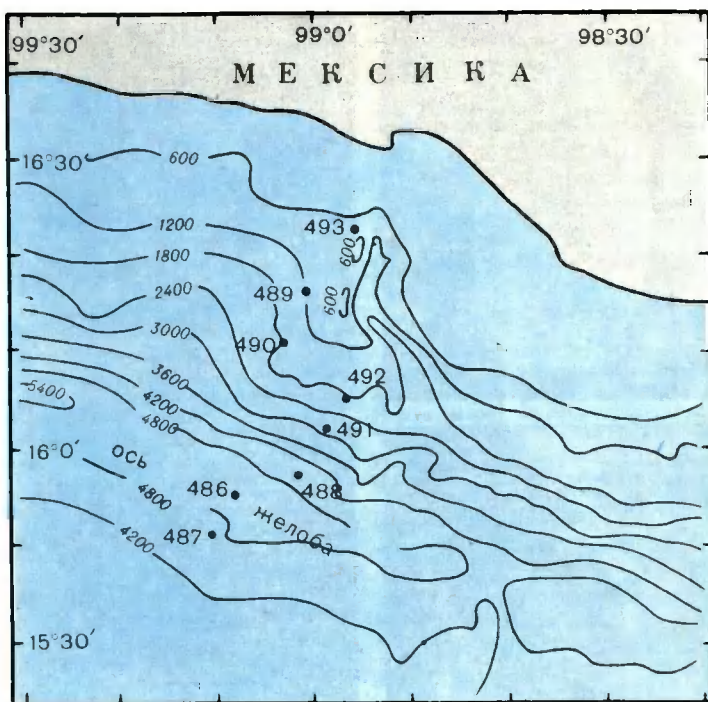
18 марта 1979 г. «Гломар Челленджер» вышел из мексиканского порта Масатлан для проведения буровых работ в Тихом океане (на разрезе через Центрально-Американский желоб), которые предусмотрены программой исследования активных континентальных окраин. В рейсе участвовали специалисты из США, ФРГ, Чили, Великобритании, Японии, Франции и Австрии; научное руководство осуществляли Дж. К. Мур и Дж. С. Уоткинс (США). Главная задача экспедиции — выявить характер и историю развития тектонических процессов в зоне, где, как предполагали специалисты, в сравнительно недавнее геологическое время началась субдукция («ныряние», пододвигание) участка океанической коры, именуемой Кокосовой плитой, под более древнюю континентальную кору (Североамериканскую плиту).

На разрезе, пересекающем желоб в районе южного побережья Мексики, буровые работы велись в восьми точках. Скважина 487 (глубина океана

4674 м), расположенная на океаническом склоне желоба, вскрыла типичные для края ложе океана осадки, состоящие здесь из двух слоев — верхнего, сложенного серыми илами, накопившимися с довольно большой скоростью за последние 2 млн лет в условиях интенсивного поступления глинистого и обломочного материала с континента, и нижнего, состоящего из коричневых глин открытого океана, накопление которых шло очень медленно в течение позднего миоцена и плиоцена (10—2 млн лет назад). Если за эти 8 млн лет на базальто-

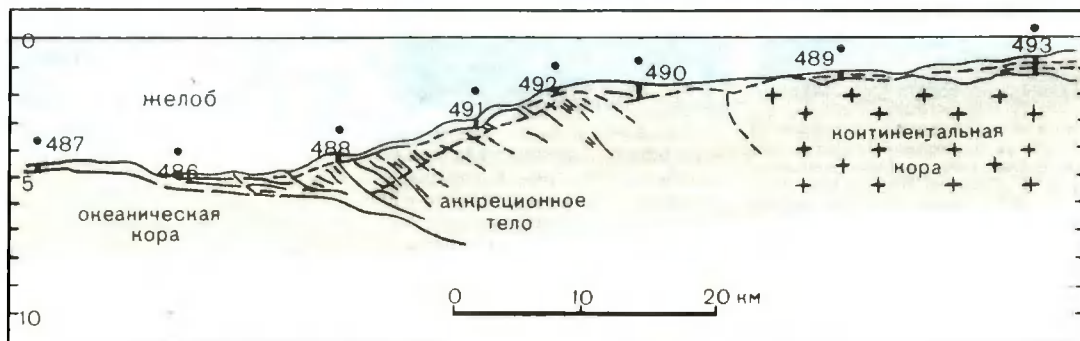
вом фундаменте накопилось всего около 50 м коричневых глин, то за последующие 2 млн лет — 115 м серых терригенных илов.

Расположенная на дне желоба скв. 486 (глубина океана 5140 м) вошла на 38 м в илистые пески, содержащие раковины мелководных фораминифер; вероятно, с континентального шельфа песчаный материал поступает на дно желоба по крупному подводному каньону. Любопытно, что самые глубоководные четвертичные осадки оказались наиболее грубозернистыми.



Стема расположения скважин в Центрально-Американском желобе у побережья Южной Мексики, пробуренных в 66-м рейсе «Гломара Челленджера».

Поперечный разрез через Центрально-Американский желоб.



В скв. 488, 491 и 492 (глубина океана 4254, 2883 и 1935 м), которые пробурены в нижней части континентального склона желоба, где сейсмическими исследованиями была выявлена сложная деформированная осадочная толща с наклоненными в сторону континента сейсмическими отражающими поверхностями, вскрыты однотипные отложения. Их верхнюю, большую, часть составляют относительно тонкозернистые серые алевроито-глинистые илы (и аргиллиты, образовавшиеся в результате их уплотнения), а под ними залегают грубозернистые отложения мутьевых потоков — пески (песчаники), содержащие гравий, гальку и переслаивающиеся с ними илы (аргиллиты). Во всех трех скважинах нижние слои накапливались значительно быстрее (до 320 м/млн лет), чем верхние (25—50 м/млн лет).

Участники рейса считают, что грубозернистые слои в основании всех трех скважин отложились на дне желоба, а затем в процессе общего сжатия и образования надвигов поднялись на разные уровни склона, наращивая континент. В каждой скважине снизу вверх осадки становятся все менее глубоководными, т. е. в ходе их накопления поднятие дна продолжалось. Возраст нижних грубозернистых слоев оказался тем древнее, чем дальше скважина находится от современной оси желоба. Так, в скв. 488, расположенной на дне желоба, пески четвертичные (моложе 1,8 млн лет); в скв. 491 такие же осадки имеют плиоценовый возраст (до 5 млн лет) а в скв. 492 — среднемиоценовый (до 15 млн лет). Это можно объяснить последовательным присоединением к аккреционному телу со стороны океана все новых порций накопившихся на дне желоба осадочных пород. Подъем каждой такой новой порции поначалу происходил очень быстро (до 400 м по вертикали за 1 млн лет), а впоследствии стал замедляться; ось желоба по мере нарастания аккреционного тела смещалась в сторону океана.

Воздействие на аккреционное тело сил сжатия подтверждается, по мнению участников рейса, уплотнением нижних слоев осадков, их трещиноватостью и сланцеватостью, а также образованием надвигов.

Скв. 490 (глубина океана 1977 м) пробурена вблизи геофизически установленного края континентальной коры. Она прошла 588 м сквозь алевроито-глинистые илы, имеющие возраст от позднемiocеновых до четвертичных. Палеонтологические данные показали, что в нижней части осадки накапливались в глубоководных условиях, а примерно 5 млн лет назад этот участок был поднят выше критической глубины накопления карбонатов и далее поднимался до современного уровня со скоростью 67—150 м/млн лет.

Скв. 489 расположена над краем континентальной коры. Под 300-метровым слоем рыхлых осадков залегают кристаллические сланцы, образующие акустический «фундамент». Вероятно, 10-метровый песчаный слой, обнаруженный на сланцах, отложился в период трансгрессии океана на край континента. Поверх песков лежат глубоководные нижнемиоценовые терригенные илы (283 м), отделенные длительным перерывом от тонкого (7 м) верхнего слоя четвертичных осадков. Трещиноватость и крутой наклон нижнемиоценовых слоев, как и перерыв в накоплении осадков, указывают на тектоническую деформацию, подъем и эрозию дна, предшествовавшие отложению залегающих полого четвертичных осадков.

Скв. 493, пробуренная в 15 км от побережья Мексики (глубина океана 670 м), прошла сквозь 675 м осадков, залегающих на диоритах — породах континента, которые были опущены и залиты водами океана в раннем миоцене. В отличие от скв. 489, где опускание дна сменилось подъемом 18—19 млн лет назад, здесь дно продолжало погружаться на 2—3 млн лет дольше, но скорость опускания была меньшей и максимальная глубина перед началом подъема, обусловленного

пододвиганием Кокосовой плиты под Североамериканскую, не превышала 2 км.

Данные, полученные в рейсе, интерпретируются с позиций тектоники плит. Отмечается, что субдукция и сопровождающие ее процессы — скучивание и деформация сжатия осадков, развитие надвигов и подъем дна в зоне континентального склона — начались 15—7 млн лет назад и продолжают до настоящего времени, причем явные доказательства такого хода событий относятся к последним 7 млн лет. По расчетам участников рейса, примерно половина общего объема осадков, накопившихся в желобе, скучиваясь на подножии склона в виде аккреционного тела, присоединяется к породам, образующим окраину континента, а половина поглощается вместе с погружающейся плитой.¹

И. О. Мурдмаа,
кандидат геолого-минералогических наук
Москва

¹ «Geotimes», 1979, v. 24, № 9, p. 2—22.

Геология

Геология метеоритных кратеров

Л. П. Хрянина (Комитет по метеоритам АН СССР) систематизировала геологические признаки метеоритных кратеров на Земле¹.

Детальное изучение метеоритных кратеров началось всего 15—20 лет назад, и пока их обнаружено около 80 — по-видимому, лишь небольшая часть из имеющихся в действительности. Диаметры земных кратеров колеблются от дециметров до 100 км (Попигайский кратер в Восточной Сибири); тысячекilометровых структур типа лунных морей

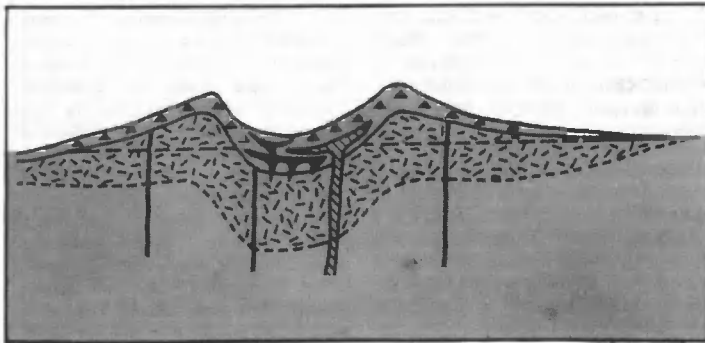
¹ «Геотектоника», 1979, № 3, с. 112.

на нашей планете не установлено.

Размеры кратера зависят от энергии удара метеорита. По этому признаку кратеры подразделяются на ударные ($D < 30$ м) и взрывные ($D > 30$ м). Эффект метеоритного удара аналогичен действию взрыва. Процесс кратерообразования делится на три стадии: ударного сжатия с возникновением канала в мишени; экскавации — образования впадины под действием отраженной волны; деформации с выпадением на дно кратера и вокруг него обломков пород. Обычно метеоритный кратер — это обрамленная валом округлая депрессия; отношение глубины депрессии к ее диаметру колеблется от 1/4 для малых кратеров до 1/20 и меньше для крупных.

Крупные взрывные кратеры образуются при давлениях в тысячи килобар и температурах в несколько тысяч градусов (энергия других мгновенных природных процессов на поверхности Земли на порядки ниже; например, давления при вулканических взрывах достигают всего 3—6 кбар). Во взрывных кратерах поэтому должны протекать плазменные реакции, а вещественные и структурные изменения оказываются при этом столь специфичными, что могут служить однозначными признаками метеоритного удара.

Один из важных признаков — присутствие в кратере и его окрестностях осколков метеоритного железа и метеоритной пыли. Когда крупные метеориты при взрыве плавятся, грунт кратера обогащается никелем, иридием, палладием и другими элементами, типичными для метеоритов. Характерные породы кратера — каменная мука в точке удара и выстилающие воронку несортированные брекчии с размерами обломков от миллиметров до десятков и сотен метров в крупных структурах. В кратерах с диаметром 2—3 км и больше встречаются горизонты стекловатых, напоминающих лаву импактитов; нередко они внедряются в виде жил в брекчии и трещиноватые породы дна кратеров.



Разрез взрывного кратера.



Ударные нагрузки вызывают значительные изменения в породах мишени (шок-метаморфизм). Установлена последовательность появления разных признаков шок-метаморфизма по мере возрастания нагрузок. Особенно показательны преобразования кварца: при 20—30 кбар в зернах кварца появляются редкие прямые трещины; при 50 кбар — до 6—8 систем трещин в одном зерне; постепенное разрушается кристаллическая решетка минерала; образуются термально неустойчивые минералы — козсит и стишовит (в лаборатории они синтезированы при давлениях 50—100 кбар, что соответствует условиям верхней мантии Земли на глубине ~ 350 км).

Структурные признаки метеоритных кратеров разнообразны. У малых кратеров под

окружающим его валом коренные породы образуют пологий свод, у более крупных — смяты в запрокинутые складки, осложнены надвигами (например, Хенбери, $D=100-200$ м, Австралия), оползнями, имеют цокольный вал и насыпной вал над ним (Аризонский кратер, $D=1,2$ км). Под дном взрывных кратеров обычно образуется линза трещиноватых пород с диаметром, приблизительно равным трем диаметрам кратера. Для кратеров с $D \geq 70$ м характерны центральные поднятия, образованные отраженной волной, при релаксации земной коры и т. п. В кратерах с $D \geq 15$ км иногда наблюдаются кольцевые поднятия. На фоне беспорядочной трещиноватости во взрывных метеоритных структурах выделяются системы кольцевых и радиальных разломов, иногда — кольцевые грабены. В глубинных кристаллических породах метеоритных структур известны случаи возникновения концентрически ориентированной рассланцеванности, что связано с переориентировкой минералов кристаллических пород перпендикулярно ударной волне.

Метеоритный удар может спровоцировать магматические внедрения по возникшим разломам. Нередко разломы в крупных структурах служат проводниками рудных растворов, местом локализации оруденения — в этом состоит практическое значение исследования метеоритных кратеров и астроблем.

Е. С. Постельников,
кандидат геолого-
минералогических наук
Москва

Геотектоника

Туранская плита и Прикаспийская впадина — два типа континентальных осадочных бассейнов

Особенности развития двух крупных платформенных структур — Туранской плиты и Прикаспийской впадины, которые расположены рядом и в то же время принципиально различаются по происхождению и геологической истории, рассмотрела группа геологов и геофизиков под руководством А. Л. Яншина.

Туранская плита характеризуется мощной (30—40 км) континентальной земной корой. Ее фундамент образован допалеозойскими массивами и линейными складчатыми системами палеозойского — раннемезозойского возраста. Залегающий на этом фундаменте платформенный чехол подразделяется на два комплекса — доплитный (палеозой — средняя юра; толщина до 7 км) и плитный (юра — антропоген; до 6 км). Отложения первого комплекса распространены главным образом на допалеозойских массивах, второго — повсеместно. Окружающие Туранскую плиту геосинклинальные систе-

мы Урала, Тянь-Шаня и Центрального Казахстана в процессе эволюции преобразовались в структурные аналоги древних щитов.

Прикаспийская впадина образовалась на дорифейском фундаменте Русской плиты. Толщина земной коры под ней резко сокращена (до 10 км), «гранитный» слой местами отсутствует, а толщина осадочного чехла достигает 25 км. По периферии впадины, ниже соленых отложений нижней перми, залегают мощные средне- и верхнепалеозойские карбонатные серии, разделенные обломочными толщами. Близ бортов впадины карбонатные комплексы выклиниваются, замещаясь маломощными глубоководными осадками. На участках этого выклинивания образовались разновозрастные седиментационные уступы, с которыми связаны цепи рифовых массивов. В центре впадины, ниже глубоководных осадков, по данным сейсморазведки, залегают 7-километровая толща досреднепалеозойских отложений. Интенсивное формирование Прикаспийской впадины с образованием глубоководного бассейна началось в позднем девоне. Компенсационное заполнение прогибающегося бассейна осадками происходило в пермское, а возможно, и в раннетриасовое время.

Формирование двух описанных типов структур связано с течениями вещества мантии при его перераспределении по плотности. Различный характер взаимодействия потоков разогретой мантии с породами литосферы и обусловил специфическое развитие этих структур.

На территориях Туранской плиты и Прикаспийской впадины открыты крупные месторождения нефти и газа. Знание литологии и морфотектонических закономерностей строения этих геоструктур позволяет направленно вести поисковые работы. Наиболее перспективны на нефть и газ плитные комплексы Туранской плиты и верхнекаменноугольные — нижнепермские песчано-глинистые толщи на востоке Прикаспийской впадины.

Тектоника территории СССР. М., 1979, с. 59—68.



Геоморфология

Человек видоизменяет рельеф

В штате Аризона, между городами Феникс и Таксон, расположен вытянутый более чем на 16 км уступ с перепадом высот, превышающим 30 см. Он возник менее 20 лет назад, и до сих пор причины его образования оставались неясными. Ныне Т. Л. Холцер, Б. Э. Лофгрэн (Управление геологической съемки США) и С. Дейвис (Университет штата Аризона в Таксоне), завершив изучение местной тектоники, представили свои выводы.

Авторы установили, что местные тектонические процессы слишком слабы, чтобы привести к столь значительному геоморфологическому образованию. Недостаточно глубоко для этого простирается и зона связанного с уступом разлома земной коры; в то же время глубина зоны соответствует именно той, которая могла возникнуть при изменении глубинных давлений, вызванных изменением уровня подпочвенных вод. Наконец, разлом начал формироваться здесь в 1961 г., как раз после того, как в связи с хозяйственными нуждами началось выкачивание грунтовых вод на поверхность.

В районах, расположенных по одну сторону уступа, воды изъяти значительно больше, чем по другую его сторону. Уплотнение и проседание почвы на протяжении более полутора десятков километров и привело в итоге к образованию уступа, наблюдаемого на поверхности.

Поскольку предполагавшаяся прежде сейсмическая причина отвергнута, Аризонский уступ отнесен теперь к числу наиболее крупных геоморфологических объектов, созданных не природой, а в результате антропогенного воздействия.

«Journal of Geophysical Research», 1979, v. 84, p. 603—612 (США).



Структурное положение Туранской плиты и Прикаспийской впадины.



древняя платформа



альпийская складчатая область



территории позднепалеозойской складчатости: а — на поверхности, б — погруженные



контур впадины

Океанология

Вертикальные движения водных масс в океане

Американская экспедиция, изучавшая в декабре 1977 г. структуру верхних слоев воды в Северном Ледовитом океане, к северу от архипелага Шпицберген, установила существование здесь аномального теплового распределения полярных вод.

Прежние наблюдения показывали, что, по крайней мере в летний период, от поверхности океана до глубины 150—200 м находится слой охлажденной воды арктического происхождения, а под ним лежит более теплый с повышенной соленостью слой атлантического происхождения. Зимняя структура этих вод оставалась неизвестной. В то же время некоторые теоретики предсказывали, что длительное (не менее двух суток) направленное воздействие ветров может приводить к установлению аномальной структуры полярных вод. Декабрьские измерения подтвердили справедливость таких предположений.

В одной из точек измерений, выполнявшихся у самой границы тяжелых паковых льдов, обнаружен аномальный слой, простирающийся от поверхности океана до глубины 140 м. Его плотность, температура и соленость почти полностью совпадают с подобными характеристиками вод Атлантического океана; тем самым этот слой резко отличается от окружающих вод Северного Ледовитого океана.

Во всех остальных пунктах измерений распределение водных масс практически совпадало с их распределением в летний период.

Анализ карт погоды данного района показал, что возникновению такой аномальной структуры вод могла способствовать сложившаяся здесь к началу наблюдений метеорологическая обстановка: господствовавшие в это время ветры могли привести к перемещению атлантических водных масс, потеснивших первоначально

размещавшиеся над ними воды полярного происхождения.

Граница паковых льдов в Северном полярном бассейне тянется на тысячи километров, поэтому можно предполагать, что обнаруженная аномалия — в действительности явление типичное для всего этого района. Его планетарный по масштабам характер необходимо учитывать в метеорологии и климатологии всего полушария.

Существование вертикальных движений вод с более высокой, чем в окружающей среде, температурой оказывает, вероятно, воздействие и на биологическую продуктивность этого района Северного Ледовитого океана.

«Science», 1979, v. 203, № 4376, p. 165—167 (США).

Вулканология

Кислотный дождь на Новых Гебридах

10 февраля 1979 г. пробудился вулкан Амбрим, расположенный на одноименном острове в архипелаге Новые Гебриды (юго-запад Тихого океана). В ночь на 11 февраля из его кратера Бенбоу вырвался столб пепла и газа. В результате соединения вулканических продуктов с дождевой влагой образовалась серная кислота. За одни лишь сутки после извержения почти вся растительность в юго-западной части острова (на площади 90 км²) погибла, многие источники питьевой воды выведены из строя, среди населения часты случаи отравления, некоторые из них получили ожоги кожи. Вдоль побережья в районе Лалинда-Порт-Вато все пастбища сожжены кислотой; сильно пострадали плантации какао и кокосовых пальм.

Выбросы из вулкана Амбрим наблюдались и прежде, но случаи выпадения кислотных осадков отмечается здесь впервые.

«Smithsonian Institution SEAN Bulletin», 1979, v. 4, № 3, p. 11; № 4, p. 10 (США).

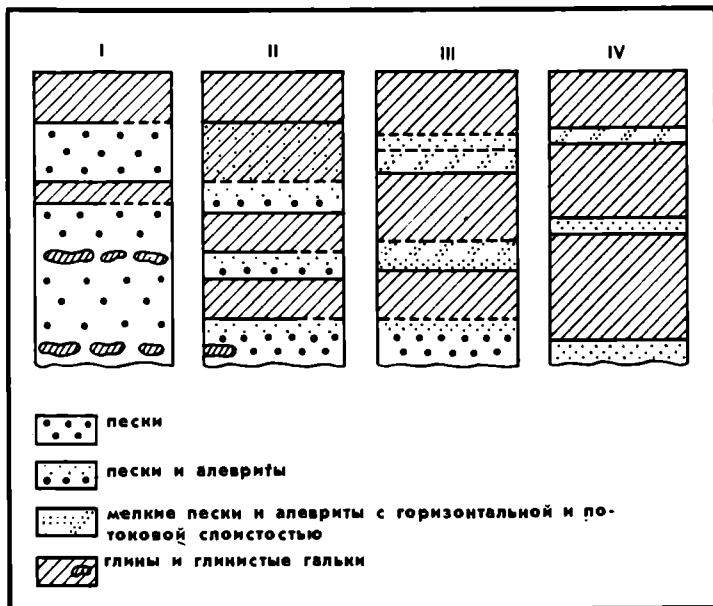
Литоология

Глубоководные обломочные осадки

И. В. Хворова (Геологический институт АН СССР) опубликовала сводку современных данных о терригенных осадках в океанах за пределами шельфов. Сводка составлена на основании большого фактического материала о распространении и составе глубоководных отложений, который получен благодаря широко развернувшимся в последние годы глубоководному бурению, сейсмическим исследованиям, отбору грунтовых проб и т. д.

Перенос обломочного материала с суши в глубокие части океанов и морей осуществляется подводными потоками трех типов — пастообразными, зерновыми и турбидными. Пастообразные потоки благодаря высокому содержанию глины обладают большой плотностью и вязкостью; кроме песка они способны удерживать во взвеси крупные обломки (галечки, валуны) и переносить их по пологим склонам на многие километры. В отложениях таких потоков сортировка материала по размерам частиц отсутствует. Зерновые потоки — это перемещающиеся по дну массы водонасыщенного песка; сложенные ими осадки разнообразны — от мелкозернистых песчаных до гравийных; характерны малое содержание глины, элеврита и массивное слоение толщ. Наконец, турбидные потоки — это суспензии с турбулентным режимом; отложение обломочного материала может происходить на любой стадии движения этого потока; его отложения — турбидиты — обычно имеют многослойное строение. Кроме перечисленных потоков, действующих эпизодически, перенос обломков осуществляется донными течениями, которые прослежены до глубины океана 6 км. Их отложения отличаются хорошей сортировкой, наличием слоистости, иногда — размылов и ряби на песке.

Состав обломочного ма-



Основные типы строения глубоководных терригенных отложений: I — пласты [0,5—3 м] песков и алевритов с прослоями глин; II и III — пласты с простым и сложным градиционным строением [обычно — отложения турбидных потоков]; IV — чередование слоев [5—10 см] мелкозернистых песчанников, алевритов и глин [часто — отложения донных течений]. Между указанными типами существуют переходные разновидности.

терригенных отложений определяется характером пород «питающей суши». Основными минеральными ассоциациями здесь являются: близматериковая кварцевая (кварц, слюды); аркозовая (кварц, полевые шпаты — большинство краевых морей Тихого океана); полимиктовая (обломки вулканитов, плагноклаза — Камчатская, Алеутская котловины); ассоциация, в которой много местного ультраосновного и базальтового материала (внутриокеанические тропи).

Основная масса глубоководных обломочных осадков отлагается в краевой части океанов на понижениях дна, выклиниваясь к возвышенностям. Для континентального подножия особенно характер-

ны пески и алевриты; здесь они формируют долинно-веерные системы, причем последние достигают грандиозных размеров (например, площадь Бенгальского веера 1 млн км², толщина осадков более 3 км). На материковых склонах долины сменяются каньонами, часто расположенными на продолжении устьев рек. Осадки каньонов — алевритистые глины с прослоями песка, алеврита, гравия. Иногда галечный материал достигает глубин 3,5 км (например, Замбезийский каньон). Алевроглинистые отложения (реже пески) скапливаются также в котловинах краевых морей (Берингова, Японского) и расчлененных участков материковых окраин (Калифорнийский бордерленд). На склонах котловин развиваются мелкие каньонно-веерные системы. В таких океанических структурах, как глубоководные желоба и внутриокеанические тропи, терригенные отложения представлены в основном тонкими алевритами и глинами, нередко пелагическими. В желобах, вытянутых вдоль суши (Центрально-Американский) или вдоль крупных островных архипелагов (Курило-Камчатский) существенную роль в осадках до океанических глубин 6—7 км играют пески.

Изучение глубоководных обломочных осадков имеет большое значение для палеотектонических реконструкций, в частности для восстановления условий образования многих геосинклинальных формаций.

«Литология и полезные ископаемые», 1978, № 4, с. 3—23.

Минералогия

Кимберлит — обломочная порода

Кимберлит — алмазоносная сверхглубинная порода, перемещенная к земной поверхности, — содержит вкрапления оливина, граната-пироба и других минералов. Обычно предполагают, что эти вкрапления возникают при глубинной кристаллизации кимберлитовой магмы.

Б. А. Мальков, Ю. И. Силин и Я. М. Цовбун (Ухтинский индустриальный институт) определили калий-аргоновым методом абсолютный возраст зерен оливина, пироба, хромдиоксида и окружающего их кимберлита. Отчетливо выявилось большое различие в возрасте этих минералов. Например, в якутской трубке «Обнаженная», прорывающей осадочные породы, возраст которых 137 млн лет, вкрапления пироба насчитывают более 850 млн лет, оливина — 350 млн лет, тогда как возраст связующей их массы кимберлита в этой трубке, по определениям разных авторов, колеблется от 200 до 290 млн лет.

Объяснить эти факты можно, лишь допуская, что вкрапления являются продуктами разрушения глубинных пород мантии — перидотитов и оливинитов.

«Доклады АН СССР», 1979, т. 245, № 4, с. 927—929.



К началу выхода серии «Страны и народы»

Л. С. Абрамов,
кандидат географических наук
Б. В. Андрианов,
доктор исторических наук
Москва



СТРАНЫ И НАРОДЫ. Научно-популярное географо-этнографическое издание в 20 томах. Том первый. Земля и человечество. Общий обзор. Отв. ред. тома С. И. Брук, В. В. Покшишевский. М., «Мысль», 1978, 352 с.

Традиция составления широких комплексных страноведческих серий в нашей стране восходит к прошлому столетию. В 1881—1899 гг. было выпущено замечательное многотомное издание «Живописная Россия. Отечество наше в его земельном, историческом, племенном, экономическом и бытовом отношении». В 1899—1914 гг. увидели свет 11 томов серии «Россия. Полное географическое описание нашего отечества». Оба издания выходили под редакцией П. П. Семенова-

Тянь-Шанского. Не меньшей популярностью пользовались в 1900-х годах иллюстрированные географические сборники «московской четверки» — А. А. Круже, С. Г. Григорьева, А. С. Баркова и С. Н. Чефранова, посвященные России и всем материкам. Во всех этих изданиях видное место отводилось человеку и его хозяйственно-преобразующей деятельности.

В первое десятилетие после Октябрьской революции традиции комплексного страноведения были продолжены. Замечательный ученый-энциклопедист, создатель учения о ландшафтах Л. С. Берг в своих работах активно вводил человека и его деятельность в характеристику природы¹. Крупнейший советский экономгеограф Н. Н. Баранский отстаивал мировоззренческий, воспитательный характер страноведческих работ и в то же время показывал их значение для обоснования хозяйственной деятельности, особенно в условиях плановой экономики². Однако впоследствии комплексные страноведческие характеристики на долгие годы исчезли. Вместо них стали создаваться «бесчеловечные», по выражению Н. Н. Баранского, региональные физико-географические и экономико-географические работы, в которых лишь незначительное место уделялось описанию населения.

Причин этому было много. Прежде всего, нарушались связи географии с этнографией, которая в советское время развивалась у нас как отрасль исторической науки, изучающей культуру и быт народов земного шара, их происхождение и рас-

селение. Географы же сторонились сложных вопросов характеристики населения. К тому же началась дискуссия о «единой» географии. Ее сторонники стремились создать вместо двух самостоятельных дисциплин — физической и экономической географий — одну «единую» науку. Наиболее рьяные противники этой точки зрения порой впадали в другую крайность и, «предостерегая» от смешения законов естественных и общественных, ставили под сомнение саму возможность составления комплексных, многогранных описаний территорий, включая характеристику природы, населения и хозяйства.

В последние десятилетия контакты между географией и этнографией стали возрождаться и крепнуть. При этом в экономической географии в качестве особой ее ветви окрепла география населения. В то же время в этнографии получила развитие этническая география как отрасль, изучающая размещение этнических (а также расовых, религиозных и др.) и этнографических (традиционно-бытовых) явлений. Все это существенным образом повлияло на развитие комплексных страноведческих исследований и обусловило появление новых обобщений научного и научно-популярного характера. Среди них следует отметить двадцатитомную серию «Советский Союз», опубликованную издательством «Мысль» к 50-летию образования СССР. В этой серии охарактеризованы не только хозяйство и природа нашей страны, но и население, включая национальные особенности советских народов³. Опыт этой серии и получил дальнейшее развитие в новой научно-популярной географо-этнографической серии «Страны и народы».

¹ См., например: Берг Л. С. Ландшафтно-географические зоны СССР, т. I. Л., 1930.

² См., например: Баранский Н. Н. Страноведение и география физическая и экономическая. — «Известия ВГО», 1946, т. 78, вып. 1.

³ См.: Абрамов Л. С. Популярное географическое описание нашей Родины. — «Природа», 1972, № 12.

В создании новой серии ведущую роль играют сотрудники Института географии АН СССР, Института этнографии АН СССР, а также Московского государственного университета. Главную редакционную коллегию, организующую и направляющую работу по всем томам, возглавляет Ю. В. Бромлей.

Серия задумана в 20 томах. Из них 15 будет посвящено зарубежным странам (в том числе 4 тома — зарубежной Европе, 4 — зарубежной Азии, 3 — Африке, 3 — Америке, 1 — Австралии, Океании и Антарктиде) и 3 тома — Советскому Союзу. Кроме того, предусмотрено два тома с одинаковым названием «Земля и человечество», посвященных планете в целом. Первый из них, открывающий серию, вышел с подзаголовком «Общий обзор», а у завершающего будет подзаголовок «Глобальные проблемы».

Перед создателями первого, вводного тома (редакторы С. И. Брук и В. В. Покшишевский) стояла сложная задача — обозреть Землю в одной книге. Предмет описания огромен и разнообразен, а масштаб описания мелок. Композиционным стержнем тома удачно выбрано взаимодействие природы и общества. Все пять частей первой книги посвящены раскрытию этой главной темы.

Основной текст тома начинается описанием природы Земли как среды обитания человечества. Эту часть книги включает обсуждение наиболее общих, глобальных задач охраны природы. Затем перед читателем разворачивается широкая панорама, которая воссоздает историю происхождения человека и его расселения по разным континентам, крупнейшие миграции народов и формирование современной социально-экономической и политической карты мира. При этом, пожалуй, недостаточно четко выявлены важные экологические различия континентов и крупных ландшафтных зон, повлиявших на характер и темпы развития народов в разных регионах мира. Следовало бы более ясно отметить очаговый характер возникновения и распростра-

нения по частям света производящего хозяйства, подчеркнуть принципиальные различия между миграциями (дисперсиями) эпохи каменного века, периода становления производящего хозяйства (сопровождавшегося интродукцией культурных растений, распространением домашних животных и преобразованием ландшафтов), древности (с «великим переселением народов»), завоевательными походами), периода начального накопления и колониальных захватов. Весьма удачен раздел «Карта мира приобретает современный вид».

В той части книги, которая посвящена географии населения и этнической географии, рассмотрены вопросы увеличения темпов роста населения во многих странах мира, сложная этническая ситуация и этнический состав населения отдельных континентов, география религий. В разделах, посвященных географии мирового хозяйства, авторы делают упор прежде всего на те процессы, которые обусловили его многообразие. Рассказывается о том, какие структурные сдвиги в мировом хозяйстве произошли под воздействием научно-технической революции, рассматриваются ведущие отрасли мирового хозяйства, их обеспеченность сырьем, структура размещения, главные грузопотоки и рынки сбыта, кооперация производства, интеграция социальных стран в системе СЭВ.

Сельское хозяйство до сих пор остается самым трудоемким делом — в нем занято более половины населения Земли. В книге анализируется распределение, качество и местные особенности земельных фондов, влияние социальных и природных условий на отраслевую структуру и размещение сельскохозяйственного производства.

Последняя часть книги дает анализ географического и этнографического аспектов феномена культуры. Советские этнографы разработали стройную теорию хозяйственно-культурного развития человечества, позволяющую на историко-генетической основе типологизировать все современное многообразие культур мира по ступ-

пеням развития культуры. Это нашло отражение в рецензируемой книге. Опираясь на понятие о хозяйственно-культурных типах и историко-этнографических областях, авторы дают широкую историческую и географическую панораму традиционных культур народов мира.

Таково в самых общих чертах содержание первого тома. Изложению столь обширного и многогранного материала в небольшой книге способствовала не только его предельно генерализованная, целестремленная подача, но и постоянное использование многочисленных карт — второго языка географии. Их отличает четкость, яркость, они наглядно показывают динамику природных процессов, путей миграции населения, хозяйственных и культурных связей и т. д. В книге много оригинальных диаграмм, графиков, профилей. Все это не только позволяет экономить текст, но и помогает читателю самому сравнивать и анализировать. Следует отметить и хороший язык, простое, доступное изложение весьма сложных вопросов.

Работа над серией развернута полным ходом, и вслед за общим из печати уже вышли три первых региональных тома. Они дают полное представление о замысле серии в целом.

Первый региональный том «Зарубежная Азия. Общий обзор. Юго-Западная Азия» (ответственный редактор Н. И. Прошин), как сказано на титуле, посвящен двум темам. Пятую часть объема книги занимает общий обзор природы, хозяйства и населения обширнейшей территории, протянувшейся от засушливого Средиземноморья до муссонного побережья Тихого океана. Песчаные пустыни и тропические леса, тайга и увенчанные ледовыми шапками высочайшие хребты планеты, островной мир Индонезии и суровая природа Тибета — так разнообразна территория, на которой живет более половины населения земного шара. Обзор показывает как общие черты, так и специфику отдельных частей зарубежной Азии и завершается обоснованием ее разделения на четыре естественно-исторических региона.

Описание стран и народов одного из них — Юго-Западной Азии — занимает большую часть книги. Перед нами проходят комплексные характеристики наших соседей — Афганистана, Ирана и Турции, всех азиатских арабских стран, Израиля и Кипра. Карты, графики и многочисленные фотографии подчеркивают типичные и специфические черты стран, их внешние связи и внутренние различия.

Следующий том — «Зарубежная Азия. Юго-Восточная Азия» (ответственный редактор П. И. Пучков). Здесь рассматриваются страны, расположенные на третьем по величине полуострове земного шара — Индокитае. Это прежде всего Вьетнам, Лаос и Кампучия, твердо вставшие на путь социалистического развития; страны древней культуры Бирма и Таиланд; Малазия и город-государство Сингапур, а также два больших островных государства — Индонезия и Филиппины, занимающие обширные архипелаги.

Наконец, вышел один из трех «африканских» томов серии: «Африка. Западная и Центральная Африка» (ответственный редактор М. Б. Горнунг). На территории этих двух регионов материка, захватывающих юг пустыни Сахары, саванны и экваториальные леса бассейна Конго, побережье Атлантики и внутренние бессточные районы, расположено более 20 развивающихся стран. Здесь и самая крупная страна Африки — Нигерия, и маленькие независимые государства Гамбия, Гвинея-Бисау и Острова Зеленого мыса, и страны социалистической ориентации Ангола, Народная Республика Конго и Гвинея. Проблемы, встающие перед различными странами, и выбираемые народами пути их решения — важная сторона географической характеристики.

Таким образом, создается своеобразная страноведческая энциклопедия, построенная не по алфавиту, а по региональному принципу: земной шар, материи, их крупные части и отдельные страны, в том числе их природные и экономические районы. И при этом не просто интересное описание,

но и глубокая, проблемная характеристика, с показом проблем глобального, континентального, регионального и внутреннего для разных стран уровня.

Подобного издания у нас не было. Географы, этнографы и издатели начали большое дело, мировоззренческое и культурное значение которого трудно переоценить. Приходится посетовать на недостаточный тираж серии. Подписаться на нее было крайне трудно, а прозевавшим подписку достать только что вышедшие тома уже практически невозможно. Между тем серии предстоит долгая жизнь.

Очерки по истории русской науки

Б. А. Старостин,
кандидат биологических наук
Москва



Развитие естествознания в России (XVIII — начало XX века). Под ред. С. Р. Микулинского и А. П. Юшкевича. М., «Наука», 1977, 535 с.

Коллективная монография, подготовленная Институтом истории естествознания и техники АН СССР, рассчитана, как сказано в аннотации, «на широкий круг научных работников и историков науки». Книга посвя-

щена изложению истории как естествознания в целом, так и всех его основных ответвлений (математика, механика, физика, астрономия, химия, геология, география, биология) в России с XVIII в., главным образом со времени основания Петербургской Академии наук (1725 г.), и до 1917 г.

Вряд ли надо лишний раз говорить о важности этой темы и этого периода, достижения которого навсегда останутся фундаментом всего дальнейшего развития отечественной науки и ее традиций. Тем не менее, как ни странно, работ, которые давали бы картину развития русской дореволюционной науки на всем протяжении ее истории, очень немного. Если не считать нескольких книг с уклоном популяризационным или очеркового характера, то можно назвать, пожалуй, только коллективную трехтомную «Историю естествознания в России» (М., 1957—1962), которая все же остается лишь первым опытом в этом роде. По сравнению с этой работой, имевшей объем 190 авторских листов, рецензируемая монография очень компактна (всего 44 листа); в то же время авторам удалось включить в нее значительный новый материал, отражающий прогресс историко-научных разработок за последние десятилетия и, что особенно важно, изобразить развитие науки, в частности ее организационной стороны, на уровне современных науковедческих представлений. Упомянем в этой связи главу «Создание Петербургской Академии наук и ее роль в развитии естествознания в XVIII веке», а также разделы «Высшее образование, деятельность университетов и научных организаций» (во второй половине XIX в.) и «Общественная деятельность русских естествоиспытателей» (в начале XX в.), где впервые произведена попытка выявить структурное расчленение двухвековой русской научной традиции по всему фронту исследований в таких ее аспектах, как научные школы (цепи преемственности от учителей к ученикам и по регионам), научные съезды и общества, участие русских ученых в международной научной жизни.

ни, естественнонаучная периодика, популяризация.

Книга состоит из трех частей, соответственно периодам (XVIII в.; первая половина XIX в.; с 60-х годов XIX в. до 1917 г.). В пределах каждой части выделено по восемь глав (по одной на каждую из перечисленных нами выше восьми дисциплин) и еще по одной — двум главам на общую характеристику науки данного периода и общественных условий ее развития. Эти обобщающие главы будут, как нам представляется, полезным пособием при подготовке любого курса науковедения или истории науки, поскольку на свежем (обычно не привлекаемом в теоретико-методологических работах) и в то же время общедоступном материале иллюстрируют тезисы о противоречивости, непрямолинейности развития науки и о единстве «внешних» и «внутренних» факторов в ее истории.

Из рецензируемой книги мы видим, например, как ускорился прогресс естествознания в тех случаях, когда его необходимость находила понимание у администрации: так было при Петре I, основавшем Академию наук. Но такие случаи были исключением, и «в административном отношении работа Академии часто протекала в неблагоприятных условиях» (с. 38), как и работа других исследовательских центров. Имелись периоды явно выраженного регресса, например начало 1740-х годов, когда Академия осталась без президента, из нее ушли Л. Эйлер и И. Г. Дювернуа, насаждались бюрократические порядки (преодоление трудностей, возникших в этот период, связано, прежде всего, с организаторской деятельностью М. В. Ломоносова); для математики и физики таким был период с конца XVIII и до начала XIX в., до развертывания интенсивных исследований в университетах.

Импульсом для всех этих событий служили имманентные потребности и растущие возможности самой науки («внутренний» фактор), но в то же время реальная историческая картина могла быть такой, какой она была, только в конкретных «эко-

номических» условиях данного периода. Притом история свидетельствует о постепенном возрастании устойчивости системы науки в целом, и выработанный к XIX в. плюрализм организационных центров и уровней (академический, университетский; научные общества, съезды; к концу XIX в. — частные научные центры, лаборатории в промышленности и т. д.) явился лишь одним из механизмов этой устойчивости. В этих механизмах остается еще много неясного, но их теоретическое понимание может быть достигнуто только через анализ конкретно-исторического материала, и прежде всего анализ на уровне больших научных систем, в особенности на уровне длительных периодов истории естествознания в целом в регионах, где развитие получили все или почти все его отрасли. В этом отношении рецензируемая монография дает обильный материал, тем более ценный, что он уже подвергнут первичной науковедческой, а в какой-то мере и статистической обработке.

Преимуществом книги является ее стилистическое и концептуальное единство, которое далеко не всегда удается выдерживать в аналогичных коллективных трудах, а также нетривиальное ощущение, данное в ней проблеме соотношения различных аспектов науки, например исследовательского и педагогически-популяризационного. Авторам удалось показать, что, вопреки распространенному мнению, эти аспекты нередко развиваются далеко не гармонично и во всяком случае не синхронно. «В последней трети XVIII в. исследовательская работа в области экспериментальной физики замерла, но большие сдвиги произошли в пространстве физических знаний. Физика была введена в программы средних учебных заведений. С 1779 по 1797 г. было издано три переводных и три оригинальных учебника физики»; после этого развернулась интенсивная подготовка кадров физиков в университетах, вылившаяся в конечном счете в новый подъем активных физических исследований в 1820-х годах и позже. Приблизительно в тот же период (после

Ломоносова и до работ К. С. Кирхгофа в 1810-х гг.) в химии наблюдается диспропорция иного рода, а именно резкое преобладание прикладных работ над теоретическими.

Стимулирующее воздействие на науку различных передовых и комплексных отраслей производства показано в рецензируемой работе гораздо более рельефно и обозримо, чем хотя бы в уже упоминавшейся «Истории» 1957—1962 гг. или многих других источниках.

Конечно, немислимо перечислить хотя бы вкратце все то полезное (и часто, несомненно, новое для себя), что читатель почерпнет из книги. Наиболее же важно, что авторскому коллективу удалось создать на протяжении всей монографии атмосферу близости к источникам, аутентичности, живого исторического процесса. Это достигнуто не только обилием таблиц, цитат, карт, факсимиле, но прежде всего комплексным подходом, отражающим одну из кардинальных методологических особенностей современной историографии естествознания, которая стремится к воссозданию реальной социально-культурной среды, к структурному и системному осмыслению историко-научной действительности.

У читателя «Развития естествознания в России» представление о самобытном и в то же время универсальном характере русской науки и ее гуманизме, несомненно, углубится после прочтения книги. Впрочем, в этой связи хотелось бы сделать такое замечание: в развитии русской науки характерным, а в какой-то мере и специфичным всегда был моральный акцент, сознание долга и ответственности ученого перед народом. Книга не обходит этого молчанием, в ней говорится, в частности, о революционной деятельности многих ученых. Однако, по нашему мнению, следовало бы посвятить особый раздел престижу науки в русском обществе, истории мнений о науке, высказывавшихся русскими писателями, мыслителями, общественными деятелями. Ценнейший материал в этом плане может быть найден в произведениях Пушкина и Лермонтова, Баратын-

ского и Гоголя и т. д., вплоть до Блока и Белого. Полезны были бы и такие разделы, как «Декабристы и наука», «Петрашевцы и наука», поскольку они помогли бы обрисовать развитие естествознания в России как целое, а не как сумму отдельных дисциплин.

Вряд ли правомерно сопоставление процессов, протекавших в русском обществе, науке и искусстве в 60-е годы XIX в., с аналогичными процессами в Западной Европе в эпоху Возрождения (с. 266). Вернее было бы считать, что Россия пережила свое Возрождение (а вместе с тем и Просвещение) в петровскую эпоху и в последовавшие за ней десятилетия; во всяком случае, такой вывод напрашивается применительно к естествознанию. Ведь именно тогда для русской науки был характерен совершенно ренессансный тип энциклопедиста (Ломоносов, Татищев, Паллас), тогда же наблюдались успехи, выразившиеся в небывало быстром насаждении целых новых научных дисциплин, в первичном освоении огромных масс материала (ботанического, зоологического, минералогического и т. д.), в создании стихийно диалектической картины мира. Наоборот, в XIX в., особенно начиная с его середины, естествознание в России развивается по той же схеме специализации,

дифференциации и интеграции, которая характерна для всей мировой науки этого периода; на первый план выдвигаются коллективные усилия ученых, лаборатории и т. д.

Заслуживает подробного анализа, а не однократного упоминания острейшая борьба около учений Менделя и Моргана, уже имевшая место в начале XX в., в период, рассмотренный в монографии. В. Я. Цингер упомянут только как математик, в то время как его ботанические и философские труды имели гораздо большее значение как сами по себе, так и с точки зрения не теряющей своей актуальности проблемы энциклопедичности в науке. В разделах, посвященных географии, очень мало данных, касающихся исследований русскими учеными природы зарубежных стран, или же такие данные приводятся лишь в виде сухого перечня посещенных стран (с. 243).

В книгу не включена историография (в смысле анализа предшествующей литературы по истории науки в России), хотя это легко объясняется, конечно, соображениями объема.

Книга может быть использована и в качестве справочника. Имеется именной указатель, приведена основная литература, включающая общие работы, первоисточники и пер-

соналии. Впрочем, в научном аппарате монографии встречаются и недочеты, которые желательно было бы исправить при последующих переизданиях. Так, почему-то катастрофически не повезло известному ботанику Карлу Фридриху Ледебур. В указателе он значится как «Лидебур» (с. 522); на с. 453 говорится, что «флористические исследования в России были впервые обобщены в сочинении «Flora Rossica» («Русская флора»), изданном на латинском языке в Штутгарте в 1842—1853 гг.», но при этом не упоминается автор «Флоры» — Ледебур. Правда, о нем говорится на с. 243, но здесь зато дана неправильная дата выхода «Флоры».

В библиографию включена работа Т. И. Райнова «Наука в России XI—XVII веков» (1940), но пропущена более поздняя монография на ту же тему В. К. Кузаква (1976).

В книге 210 в целом удачно подобранных и выполненных иллюстраций, но в труде подобного характера желательно было бы указать их источники.

Сделанные замечания, несомненно, не снижают достоинства рецензируемой монографии, которая стала настольной книгой для всех, кто работает в области истории отечественной науки.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

М. И. Каганов. ЭЛЕКТРОНЫ, ФОНЫ, МАГНОНЫ. М., «Наука», 1979, 192 с., ц. 45 к.

Автор поставил перед собой задачу познакомить широкого читателя с теоретическими достижениями и некоторыми практическими приложениями квантовой физики твердого тела. Книга дает ответы, почему металлы лучше проводят тепло, чем диэлектрики; почему одни тела магнитны, а другие нет и т. д. В книге почти нет формул, но много рисунков и

обобщений. При этом автор не ограничивается сжатой констатацией свойств и явлений, но объясняет их природу, используя известные из школьного курса общефизические понятия.

Физика

В. Л. Гинзбург. О ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. Сборник статей. М., «Наука», 1979, 238 с., ц. 1 р. 30 к.

В эту книгу, приуроченную к 100-летию со дня рождения Альберта Эйнштейна,

включены материалы, посвященные различным аспектам научного наследия великого физика. Основную часть составляют уже опубликованные ранее научные и научно-популярные статьи и рецензии В. Л. Гинзбурга, но одна статья (об экспериментальной проверке общей теории относительности) написана специально для данного издания. В центральных статьях сборника оценивается история развития представлений о гелиоцентрической системе и раскрываются предпосылки, обуславливающие разработку общей

теории относительности; обсуждается структура Вселенной и механизм ее развития во времени; приводится ценная информация о сверхновых источниках излучения.

Математика

А. Н. Тихонов, Д. Д. Костомаров. РАССКАЗЫ О ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКЕ. М., «Наука», 1979, 205 с., ц. 35 к.

Цель книги — в популярной форме рассказать широкому кругу читателей о прикладной математике, об идеях, методах, трудностях исследований, связанных с применением математических методов и вычислительной техники к изучению законов природы и их использованию в практической деятельности.

Книга начинается с трех глав, посвященных трем основным элементам прикладной математики: математическим моделям, вычислительным алгоритмам и электронно-вычислительным машинам. В последующих главах разбираются некоторые типичные задачи прикладной математики и методы их решений. Они знакомят читателя с численными методами решения уравнений, математическими вопросами, связанными с проблемой оптимизации, с дифференциальными уравнениями. Изложение каждой темы начинается с вопросов, которые входят в программу средней школы. Однако в книге они поданы так, что от них легко перейти к реальным задачам прикладной математики.

Астрономия

А. Н. Симоненко. МЕТЕОРИТЫ — ОСКОЛКИ АСТЕРОИДОВ. Под ред. Б. Ю. Лавина. М., «Наука», 1979, 224 с., ц. 1 р. 20 к.

Каково происхождение метеоритов? Современная астрономия установила, что это продукты разрушения кометных ядер и астероидов. В земной атмосфере кометные метеориты быстро сгорают; только среди астероидных обломков встре-

чаются крупные и прочные камни разного состава, выпадающие в виде метеоритов.

В книге обобщаются последние результаты изучения астероидов и метеоритов, полученные разными методами в нашей стране и за рубежом. Основное внимание автор уделяет освещению достижений космической астрофизики в данной области. Астероиды последовательно рассматриваются как родительские тела метеоритов — характерных камней из первичного вещества Солнечной системы, наименее измененных последующими процессами. Подробно прослежены этапы формирования состава и структуры метеоритов сначала в недрах, а потом в поверхностном раздробленном слое родительских тел разных поколений. В трех приложениях помещены сведения о минеральном составе метеоритов разных классов, а также составе и структуре 360 наиболее изученных астероидов.

Химия

Б. М. Кедров. ПРОГНОЗЫ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА В АТОМИСТИКЕ. III. За гранью системы элементов. М., «Атомиздат», 1979, 184 с., ц. 1 р. 40 к.

Эта книга является последней в трехтомнике, посвященном анализу различных сторон открытия периодического закона гениальным русским химиком Дмитрием Ивановичем Менделеевым. Первая книга («Неизвестные элементы») издана Атомиздатом в 1977 г., вторая («Атомные веса и периодичность») — в 1978 г. В третьей книге продолжен рассказ о великих предвидениях Д. И. Менделеева, о том, как ученый, опираясь на открытый им периодический закон, строил свои прогнозы в области атомистики. Здесь главным образом освещаются вопросы, выходящие за границы того понимания периодического закона и периодической системы элементов, которое сложилось в последние десятилетия XIX в. В книге широко использованы архивные и историко-научные источники, что позволяет глуб-

же проникнуть в процесс научного творчества гениального химика. В конце книги подводятся научные итоги трехтомного исследования в целом.

География

НОВЫЕ ИДЕИ В ГЕОГРАФИИ. Выпуск 4: Географические аспекты экологии человека. Под ред. Ю. В. Медведкова. Пер. с русск., нем., франц. и англ. М., «Прогресс», 1979, 396 с., ц. 1 р. 20 к.

Голубые обложки с синей надписью «Новые идеи в географии» и с номером выпуска на корешке стали уже привычными для географов. Первый выпуск был посвящен проблемам моделирования и информации, второй — городским системам и информатике, третий — экологии и экономике и, наконец, четвертый, последний на сегодняшний день выпуск — географическим аспектам экологии человека. Из двух десятков составивших его статей три принадлежат советским ученым (И. П. Герасимову, С. С. Шварцу, Ю. В. Медведкову), остальные — крупнейшим иностранным специалистами (А. Преу, А. Костровицкому, Б. Берри и Ф. Хортону и др.). Экология человека — относительно молодое направление в науке, и тем уместнее такой сборник в серии, пропагандирующей самые последние новости мировой географической науки. Составители сгруппировали статьи в два больших раздела: первый посвящен теоретико-методологическому «этапу» проблематики, а второй — методическому. Несмотря на различие подходов и концепций, всех участников сборника объединяют по крайней мере три момента: антропоцентризм, т. е. нацеленность на изучение человека (по удачному выражению Ю. В. Медведкова, «традиционная для географии тема «Земля и люди» переосмыслена и превращена в тему «Земля людей»), творческий поиск с целью улучшения окружающей человека среды и, наконец, тяга к географическому синтезу. А общность забот, помноженная на их остроту, — залог не только взаимопонимания, но и успехов на этом актуальном поприще.

Кое-что о заголовках

Э. А. Лазаревич,
кандидат филологических наук
Москва

В муках рождается заголовок научно-популярной статьи. Хорошо бы в нем сфокусировать особенности этого жанра с его строгостью, с одной стороны, и образностью, выразительностью, с другой.

Может, автор и дерзнул бы заговорить с читателем оригинально и ярко. Но он знает: сама тема требует точности. К тому же издание, в котором ему печататься, имеет свои пристрастия.

В журнале «Вокруг света» заголовки часто сообщают, где происходит действие и о чем идет речь. Так было в самых первых номерах (1861 г.), и сорок лет назад, и теперь. Заголовкам «Шары над Атлантикой», «Птицы над городом», «Акция в Страсбурге», «Люди в море» нельзя отказать в точности, но ведь и в однообразии — тоже.

Традиционно строги заголовки в «Природе»: «Первое издание трудов Академии наук», «Кристаллография сегодня», «Лазер измеряет скорость», «Как я снимал Командоры». Близость некоторых статей в «Природе» к научным публикациям заявляет о себе заголовками, многословными и перегруженными терминами: «Лучистый ожог деревьев в районе падения Тунгусского метеорита», «Мощные всплески γ-лучей — новое астрономическое открытие», «Вспышка космического γ-излучения по наблюдениям на ИСЗ «Космос-461». Как ни странно, все три заголовка встречаем в одном номере.

К сожалению, узкоспециальные термины и аббревиатуры в заголовках не редкость. Чем объяснить, что редакции, ратующие за доступность публикаций, предназначенных для неспециалистов, одобрили такие заголовки: «ХеF₂ — дифторид

ксенона», «Радиоэкология гидробионтов», «Квадруплетная ТРНК исправляет мутации», «Ядерный стипль-чез», «ККМ-4», «Бараж, стамед, канифас...», «Аспергиллюс в пожарной каске»? (Примеры взяты из разных журналов.)

Разнообразны и привлекательны многие заголовки в «Технике — молодежи»: «Станет ли Земля планетой гигантов?», «Сварка знакомая и незнакомая», «Я вижу... ваш голос», «Машина — дитя человеческое», «Все о пароме» и т. п. Но рядом встречаем заголовки, весьма любимые популяризаторами еще начала нашего века, эти «тайны», «загадки», «чудеса» и «волшебства», которые давным-давно потеряли свежест, стали штампом. В подшивке «Техники — молодежи» за один год, кроме «Антологии таинственных случаев», были «Тайна глобальных трещин», «Тайна Эйнштейна», «Тайна раскрыта, поиск продолжается», «Гиганты хранят свою тайну», «Загадка пятиугольного замка», «Власти — добрых и злых чудес», «Хронология чудес и волшебств», «Волшебный ковер будущего», «Шкатулка молекулярных волшебств».

Заголовки в журнале «Знание — сила» отличаются лаконизмом и разнообразием, привлекают яркостью, многие — новизной: «Кто включил вечный холодильник планеты?», «Безразлична ли безмагнитность?», «Великий глетчер. Понять и освоить!», «Как рождаются, живут и не умирают народы», «Вы здоровы? Пройдите к врачу», «Где притаились землетрясения?», «Директор Арктики», «Разговор или обмен настроением?», «Невозможно без Политехнического».

Правда, иногда в поисках занимательности, необычности теряется чувство меры и ясность: «Не простая простота», «Колбаса, свинец и алмазы», «Надо ли кусать свою сапоку?», «Белый, синий, золотой...»

Пожалуй, можно сказать, что одна группа журналов (например «Природа», «Вокруг света») стремится сохранить традиционную точность заголовков, другая («Техника — молодежи», «Знание — сила») — предпочитает яркие заголовки, окрашенные индивидуальностью авторского стиля.

Обе эти тенденции правомочны, если соответствуют вкусам читателей, если приверженность к строгости не рождает однообразия и усложненности, а поиски яркости, неповторимости не идут в ущерб ясности изложения. Обе тенденции удачно сочетаются в журнале «Наука и жизнь», читатель которого приучен к заголовкам, строгому, точному и в то же время выразительному, многозвучному.

С первого номера «Химия и жизнь» (1965 г.) заявила о себе широкой охватом проблем, вторжением в сопредельные области науки. За последние годы расширилась тематика журнала, редакционный коллектив накопил опыт разговора с читателями. Но он не утратил вкуса к поиску краткого, точного, яркого заголовка: «От молекулы — до биосферы», «Огромное хозяйство Академии...», «Так ли горячо на Солнце?», «Как упакована ДНК», «Чем жив термит?», «Теперь еще — медный лазер», «Мели на молочных реках», «Сколько стоит айсберг?», «Эти незаменимые аминокислоты...», «Мы — часть планеты».

Анализируя заголовки, видишь: страницы многих изданий будто гигантская лаборатория, где ставится непрекращающийся эксперимент по поиску средств завоевания ума и сердца читателя.

Часто заголовками служат фразеологические выражения, крылатые слова, ярко раскрывающие тему и аспект ее рассмотрения. Их тесная связь с содержанием подчеркивается введением ключевых слов публикации: «Не так страшен

фтор...», «Хождение за три науки», «Ловись, рыбка большая и только большая», «Эх, дороги — скорость да комфорт», «Следствие ведут книговеды».

Назывные предложения в заголовках сочетаются с глагольными: «Этот предметный мир», «Муж, жена и работа», «Хирург оперирует в барокамере», «Как луноход научили видеть».

Все чаще и смелее используются в заголовках причастные обороты и придаточные предложения, позволяющие подчеркнуть существенные черты, дать оценку рассматриваемых проблем: «Николай Коперник, раскруживший Землю», «Человек, открывший тайну ветров», «Вода, на воду не похожая», «Скованные одной пищевой цепью», «Флейта, которой 4 тысячи лет», «Человек, который видел электроны».

Номер журнала — единое целое. Каждый заголовок в нем воспринимается не только сам по себе и в соотношении с текстом, но и в сочетании с другими. Вот почему однотипные заголовки создают монотонность.

С лексической тавтологией ведется борьба. Сейчас очень редко можно встретить в одном номере заголовки с однокоренными словами: «Рождение песни», «Радуга рождается в темноте», «Жизнь до рождения». Синтаксическая же тавтология — явление довольно распространенное: «Профилактика рака», «Служба крови», «Тайны тайнописи» (подряд три подлежащих с определением, выраженным существительным в родительном падеже) или «Погода и математика», «Геология и жизнь», «Годы, города и население», или «Обои», «Сыр», «Универсальная палатка», «Самодельные теплички» (обилие назывных предложений).

В одном номере содержание превращается в вопросник, и читатель попадает в положение допрашиваемого: «Скобки в таблице Менделеева. Что за ними?», «Зачем нужна обратная транскрипция?», «За какую нитку тянуть?», «Были ли митохондрии бактериями?», «Зеленый фотозлемент?», «Где живут здоровяки?», «Бензин из пластмассы?», «Облако антилеса?». В другом — чуть ли

не в каждом заголовке тире, иногда без надобности: «Будущее — за контролируемым усложнением органических молекул», «Бактериофаг — модель вируса рака», «Земное ядро — из чего оно?», «Радиолулерод — очевидец прошлого», «Ползающий гриб — миксомицет», «Английский — для химиков», «Стадион — как новый», «Окисление — восстановление», «Скорцонер — черный корень».

Во многих номерах избыток двоеточий: «Апатиты: руда и концентрат», «Иммунитет: свое и чужое», «АСУ: аппарат — цех — комбинат — отрасль», «Кто виноват: доска или мел?». Последние примеры не случайны. Они результат моды, моды на двоеточие, охватившей некоторые научно-популярные журналы. Но прежде чем говорить о ней, отступим почти на два десятилетия.

В 60-е годы в журналистике вообще, в том числе и научно-популярной, резко возрастает тенденция комментирования, анализа событий и фактов. Эта тенденция приводит к поискам более отчетливой связи, ключевых слов в заголовках, что влечет разрушение традиционной интонационно-пунктуационной системы или, по крайней мере, ее неуточненность. Вместо точки, обычно отделяющей главную часть от уточнения («Бионика. Состояние и тенденции развития»), все чаще ставится тире, подчеркивающее новые отношения составляющих заголовка. Примеры из разных журналов свидетельствуют о том, что названное явление получает широкое распространение: «Хирургия — проблемы, поиски», «Аномальная вода — гипотезы и факты», «Человек — сегодня, завтра, послезавтра», «Техника и квартира, семья и дом — сегодня и завтра», «Бытовика — проблемы, надежды, общие рассуждения». Стоит обратить внимание на следующие обстоятельства: 1) тире между частями заголовка ставит их в отношения подлежащего и сказуемого, им не свойственные, 2) во вторую часть часто входят слова «проблема», «гипотеза», «сегодня» («вчера», «завтра»).

Со временем наряду с заголовками, формулиру-

ющими тему («Нефть Урала», «Кое-что о молоке»), в журналах все чаще стали встречаться заголовки, состоящие из двух или из нескольких ключевых слов публикации. Эти заголовки, как правило, содержат не перечисление, а цепочку, сопоставление понятий, отражают их взаимосвязь, взаимозависимость. Пунктуационно они оформляются по-разному. Их составляющие разделяются запятой, точкой, тире или соединяются союзами: «Звук, удар, искра», «Архитектура, социология, жизнь», «Беда. Помощь. Верность», «Машины — Земля — Люди», «Стандарт — квалиметрия — качество», «Экология и современность», «Обучение и мозг».

Поиски занимательности, новизны внутри данной конструкции приводят к сближению понятий, логически не связанных, не сопоставимых. Приобретая парадоксальность звучания, многие заголовки теряют ясность: «Колбаса, свинец и алмазы», «Клей, мосты и психология», «Смерч и пряха», «Лягушки и люди», «Машинка Остаса Бендера и надежность генетического кода». А затем им на смену в периодической печати пришли конструкции с двоеточием.

Двоеточие в русской пунктуации — знак подчинительной связи, предупреждающий о дальнейшем разъяснении сказанного. По мнению лингвистов, он восходит к структуре прямой речи. В газетной практике в середине 60-х годов широко и правильно использовались конструкции типа «Кто: что сказал» или «Где: что происходит», «Машина: я вас понимаю», «Новосибирск: встреча молодых ученых». Двоеточие позволяет при телеграфной краткости связать усеченные куски текста воедино, повышая смысловую насыщенность заголовка. При этом увеличивается возможность максимализировать причинно-следственные отношения отдельных частей, что соответствует общей аналитической тенденции современной журналистики и — как нельзя больше — специфике популярного изложения. К середине 60-х годов, когда заголовки с двоеточием в газетах уже

утратили оригинальность и новизну, они начали триумфальное шествие по страницам научно-популярных журналов. Двоеточие в заголовке постепенно сделалось самым распространенным знаком, заменяя и точку, и тире, и восклицательный знак.

Замена знаков проходила стремительно и без колебаний. В доказательство приведем анекдотичный случай. Публикация с продолжением шла в двух номерах журнала. Она озаглавлена в первом «Корова и сено. К общему предку», во втором — «Корова и сено: к общему предку».

Двоеточие становится самым модным знаком препинания и часто употребляется в противоречии со смыслом, например, между именным сказуемым и подлежащим («Птичий уникум: перепелка», «Молекулокинез: новое понятие в молекулярной биологии»), между подлежащим и обстоятельством времени («Рекорд: вчера и завтра», «Наука Белоруссии: вчера, сегодня, завтра», «Формальдегид: вчера, сегодня, завтра»), между подлежащим и определением («Сахар: сладкий, горький, соленый», «Мозг: живой, бодрствующий, работающий»), даже между подлежащим назывного предложения и деепричастным оборотом, сочетание которых грамматически невозможно («Уголь: заглядывая в будущее»). В некоторых случаях нельзя установить логическую связь частей заголовка: «Художественное произведение: цех».

Повторяется не только знак, но и слова, следующие за ним: «Космические поселения: «за» и «против», «Одежда из синтетики: за и против», «Надувные дома: за и против», «Океан: его настоящее и будущее», «Пизанская башня: прошлое, настоящее, будущее», «Замоскворечье: прошлое и будущее».

Как известно, любое произведение о науке базируется на открытиях и фактах, существующих реально во времени. В каждом произведении о науке ключевыми словами, передающими какой-то аспект рассмотрения, можно считать «открытие», «факт», «реальность», «настоящее» («прошедшее», «будущее»). Рецепт составления штампованных заголовков прост: это и несколько других слов («проблемы», «гипотеза», «легенда», «миф», «фантазия») с помощью двоеточия присоединяются к названию темы: «Светогидравлика: открытия и находки», «Дионисий: легенды и открытия», «Животный мир: открытия и легенды нашего века», «Рублев: новые открытия и старые легенды», «История: факты и домыслы», «Новое о планетах: факты и гипотезы», «Функция сна: факты и гипотезы», «Сельская школа: проблемы и перспективы», «Энергетика: традиции и перспективы» и т. п.

Значение второй части все более нивелируется. Трудно определить смысловое различие формулировок: «настоящее и будущее», «реальность и пер-

спективы», «прогноз и реальность». Да и значат ли они что-нибудь в подобных заголовках?

Погоня за модой снова привела к штампу. Попытки оживить его неожиданной метафорой рожают заголовки-ребусы: «Мозг: от «плюса» к «минусу» и обратно», «Капля на бутерброде»: тонкослойная хроматография», «Необыкновенное стекло: четыре загадки — одна разгадка».

Трудно, действительно, трудно найти заголовок публикации о науке. Но автор ищет. Учитывая опыт издания и чувствуя пульс времени, преодолевая косность привычки и опираясь на все богатство языка, он ищет и — будем верить — найдет точные, ясные и самобытные слова для первого обращения к читателю.

Заголовок принято называть визитной карточкой публикации. А он изменчивое дитя традиции и при всей своей индивидуальности — неотъемлемая часть всего журнала, отражающая его направление и историю, а также современные тенденции всей периодической печати.

Какие «понятные» заголовки! [вверху]. Все эти «тайны» давно стали штампом [внизу].

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Т. М. АФОНИНА, Т. Д. МИРЛИС

Сдано в набор 28.11.79
Подписано к печати 7.1.80
Т—02508
Формат бумаги 70Х100 1/16.
Офсет
Усл.-печ. л. 10,4 Уч.-изд. л. 15,1
Бум. л. 4
Тираж 85 000 экз. Зак. 2933

Чеховский полиграфический комбинат Союзполиграфпрома Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. г. Чехов, Московской области.

Адрес редакции:
117049 Москва, В-49,
Мароковский пер., 26.
Тел. 237-50-30, 237-22-97.

ТРИ ИДЕИ НА ОДНУ ТЕМУ

Неизбежность
двунога

«Био» против «био»

О треугольниках
не совсем равносторонних

Водный
гидрант:
проклятие
или
благословение!

ПАЛАПА КАК ПАЛАПА

Спектр чармония и взаимодействие кварков

Судьба ревизора,
или Фортуна
систематика

О клапанах, язве желудка
и «единой теории поля»

ПОСЕЙРО И ГРИЛЕЙРО

«Фабрика-
кухня»
АИСТ

Нечерноземье —
пошути телятнику

Локсодромия

Возможны
варианты

От лидера —
к АЛИС

РАЗГАДАННЫЙ
«ПАРАДОКС»

Загадка
далекого прошлого

ЗАГАДКА
ЕЛЕНЬ КУБЕ

РАЗГАДАНА
ЕЩЕ ОДНА ЗАГАДКА
ПАТРИСТОВ

ЗАГАДКА КАЗБЕКА

Загадки
подводных
камней

Загадки
верхнего докембрия

ЗАГАДКА СТРЕЛЫ-ЗМЕИ

ПЛАНЕТА ЗАГАДОК

ЗАГАДКА АЗОТА РАЗГАДАНА

Вид сверху
на тайны двух океанов

Еще одна
загадка
океана

ТАЙНЫ

Загадки
дороги
тайфунов

„ГОДУНОВСКОЙ“ КАРТЫ

ТАЙНА ВЕРХНЕГО
ЛЮБИНА

Тайна
«горящих» вод

Тайны
зеленой аптеки

ПОЧТИ
РАЗГАДАННАЯ
ТАЙНА

НЕТ ТАИН И НЕТ СЕКРЕТОВ

ТАЙНЫ
ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ

НОВЫЙ КЛЮЧ К СТАРЫМ ТАЙНАМ

СЮРРИЗЫ
И ТАЙНЫ ЛЕБЕДЯ

Цена 10 коп.
Индекс 70707

