

ISSN 0032 - 874X

ПРИРОДА

194



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И.Н.АРУТЮНЯН (редактор отдела физико-математических наук), О.О.АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), кандидат химических наук Л.П.БЕЛЯНОВА (ответственный секретарь), член-корреспондент РАН Н.А.БОГДАНОВ (геология), член-корреспондент РАН В.Б. БРАГИНСКИЙ (физика), член-корреспондент РАН А.Л.БЫЗОВ (физиология), доктор географических наук А.А.ВЕЛИЧКО (палеогеография), академик АМН А.И.ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н.Н.ВОРОНЦОВ (охрана природы), академик М.Е.ВИНОГРАДОВ, член-корреспондент РАН С.С.ГЕРШТЕЙН (физика), доктор географических наук Н.Ф.ГЛАЗОВСКИЙ (география), академик Г.С.ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), академик Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), академик В.А.ЖАРИКОВ (геология), член-корреспондент РАН Г.А.ЗАВАРЗИН (микробиология, экология), М.Ю.ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), академик В.Т.ИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В.А.КАБАНОВ (общая и техническая химия), Г.В.КОРОТКЕВИЧ (редактор отдела научной информации), академик Н.П.ЛАВЕРОВ (геология), Л.Д.МАЙОРОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), доктор биологических наук Б.М.МЕДНИКОВ (биология), Н.Д.МОРОЗОВА (научная информация), доктор геологических наук Л.Л.ПЕРЧУК (геология), доктор технических наук Д.А.ПОСПЕЛОВ (информатика), член-корреспондент РАН В.А.СИДОРЕНКО (энергетика), академик В.Е.СОКОЛОВ (зоология), член-корреспондент РАН В.С.СТЕПИН (философия естествознания), академик В.Н.СТРАХОВ (геофизика), Н.В.УСПЕНСКАЯ (редактор редактор отдела философии, истории естествознания и публицистики), академик Л.Д.ФАДДЕЕВ (математика), доктор биологических наук М.А.ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор биологических наук С.Э.ШНОЛЬ (биология, биофизика), О.И.ШУТОВА (редактор отдела экологии и химии), доктор физико-математических наук А.М.ЧЕРЕПАЩУК (астрономия, астрофизика).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Газо-пылевой комплекс в созвездии Жервеника. См. в номере: Сурдин В.Г. Астрономия и общество.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Изученный фрагмент метеорита, упавшего 16 мая 1981 г. в верхнем течении р. Омолон (Магаданская обл.). См. в номере: Коллясников Ю.А., Пляшкевич А.А., Савва Н.Е. Уникальный палласит планеты.

Фото Н.Е.Савва



Всероссийское объединение издательских, полиграфических и книоторговых предприятий «Наука»

© Российская академия наук
журнал «Природа» 1994

В НОМЕРЕ:

3 Дергачев В. А. РАДИОУГЛЕРОДНЫЙ ХРОНОМЕТР

Концентрации космогенного радиоуглерода за последние более чем 10 тыс. лет выделены в крупномасштабные циклы, составляющие примерно 200 и 2000 лет. По историческим и природным архивам исследуется связь между изменениями солнечной активности, климата и содержанием радиоуглерода.

16 Юдович Э. Я. ЭТИ ЧЕРНЫЕ — НЕЧЕРНЫЕ СЛАНЦЫ

Одна из характернейших особенностей металлоносных черных сланцев — повышенное содержание органического углерода. Что же послужило причиной формирования этих необычных пород? Какие факторы могли повлиять на утечку углерода из биосферного цикла в «черносланцевые эпохи»?

28 ДРЕВНИЕ ПЛЕМЕНА И НАРОДНОСТИ Рябинин Е. А. МЕРЯ

Археологические древности Волго-Клязьминского междуречья и Ярославско-Костромского Поволжья, предшествующие славянскому освоению этих территорий, позволяют восстановить процесс развития и смены этнических общностей на северо-востоке Руси — основной области формирования древнерусского населения и общерусской национальной культуры.

37 Зубрева М. Ю. ВОКРУГ ЭКОЛОГИИ ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА

Территория, с которой собирает воду крупнейшая река Европы Волга, включает 40 административных единиц — области и даже суверенные государства. Без понимания экологического единства этого плотнонаселенного промышленного и сельскохозяйственного региона разумное хозяйствование в нем невозможно. Созданные база данных и экспертная система «Регион» позволяют выбирать оптимальные варианты развития всего бассейна в целом и его отдельных частей.

44 Сурдин В. Г. АСТРОНОМИЯ И ОБЩЕСТВО

С развалом плановой социалистической экономики мы неожиданно осознали, что взаимоотношение науки с обществом — дело непростое. У астрономов тоже возникли проблемы, решая которые полезно изучить опыт своих зарубежных коллег.

54 Смильников В. А. НАЧНЕМ С МАЛОГО

60 Хамн В. Е. РАЗМЫШЛЕНИЯ ЕСТЕСТВОИСПЫТАТЕЛЯ

На геологическом факультете Московского университета, как положено, существовал методологический семинар. Автор статьи возглавлял его не один десяток лет. Какие мысли этот опыт рождает сегодня?

64 Мащенко Е. Н. САМЫЙ СЕВЕРНЫЙ ПРИМАТ АЗИИ

71 Бызов А. Л. УПРАВЛЯЕМЫЕ СИНАПСЫ

В последние годы стало ясно, что классические представления о работе синапса, осуществляющего межнейронный взаимодействия, недостаточны. Одна из возможных дополнительных гипотез — универсальный механизм электрической обратной связи.

86 Колясников Ю. А., Пляшкевич А. А., Савва Н. Е. УНИКАЛЬНЫЙ ПАЛЛАСИТ ПЛАНЕТЫ

90 Торн К. С. ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И ИСКРИВЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ: ДЕРЗКОЕ НАСЛЕДИЕ ЭЙНШТЕЙНА

103 ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1993 ГОДА

Брагинский В. Б.
ПО ФИЗИКЕ — Р. ХАЛСЕ И ДЖ. ТЕЙЛОР (103)
Берлин Ю. А., Белянова Л. П.
ПО ХИМИИ — М. СМИТ И К. МУЛЛИС (104)
ПО ФИЗИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ — Р. РОБЕРТС И Ф. ШАРП (110)

112 НОВОСТИ НАУКИ (56, 57, 81, 102)

127 КОРОТКО

РЕКЛАМА И ОБЪЯВЛЕНИЯ (58, 82)

IN THIS ISSUE:

3 Dergachev V. A.
RADIOCARBON CHRONOMETER

For the last ten thousand years the cosmogenic radiocarbon concentrations produce broad-scale cycles of the scales approximately to 200 and 2000 years. The relation between modifications of solar activity, climate and radiocarbon content is investigated on evidence derived from the historical and nature archives.

16 Yudovich Ya. E.
THESE BLACK SHALES — NOT AT ALL BLACK!

One of the distinctive peculiarities of the metalliferous black shales is the organic carbon content, higher than usual. What has given rise to the formation of these unusual rocks? What factors could influence the carbon leakage from biosphere cycle into "black epochs"?

28 ANCIENT TRIBES AND PEOPLES
Ryabinin Ye. A.
MERJA

The archeological antiquities of the country between the Volga and the Klyazma Rivers, Yaroslavl—Kostroma Povolje (before the development of these territories by the Slavs) help us to restore the process of the appearance, progress and replacement of the ethnic communities in the north-eastern Russia. These regions are the main territory of the formation of the Old Russian population and the All-Russian national culture.

37 Zubreva M. Yu.
ON THE ECOLOGY OF THE VOLGA
BASIN

Volga, the largest river of Europe, with its tributaries flows across the territory with 40 administrative divisions — provinces and even sovereign states. It is impossible to manage the region wisely without realizing the ecological unity of this industrial and agricultural region, densely populated. The data base and the expert system "Region" make it possible to choose the optimal variants of the development of the basin and its divisions.

44 Surdin V. G.
ASTRONOMY AND SOCIETY

After the breakdown of the socialist planning economy we have realized that the interaction between science and society is a complicated thing. Astronomers had also to meet with problems, and the experience of foreign colleagues could be useful to solve ones.

54 Sinelnikov V. A.
BEGIN WITH THE FEW THINGS**60** Khayin V. Ye.
NATURALIST'S MEDITATIONS

It was the custom to have a methodological seminar at the geological faculty of the Moscow University. The author of the article headed it more than ten years. What ideas did his experience give rise to at present?

64 Maschenko Ye. N.
THE MOST NORTHERN PRE-EMINENCE
OF ASIA**71** Byzov A. L.
THE CONTROLLABLE SYNAPSES

Recently it became evident that the classic conceptions about the synopsis fulfilling the inter-neuron interactions are insufficient. One of the possible supplementary hypotheses is the universal mechanism of the electric inverse bond.

86 Kolyasnikov Yu. A., Plyashkevich A. A.,
Savva N. Ye.
THE UNIQUE PALLASITE OF THE
PLANET**90** Thorne K. S.
BLACK HOLES AND TIME WARDS:
IENSTEIN'S OUTRAGEOUS LEGACY**103** THE 1993 NOBEL PRIZE WINNERS:
Braginsky V. B.
IN PHYSICS — R. HALSE, J. TAYLOR
(103)

Berlin Yu. A., Belyanova L. P.
IN CHEMISTRY — M. SMITH, K. MULLIS
(104)
IN PHYSIOLOGY AND MEDICINE —
R. ROBERTS, PH. SHARP (110)

112 SCIENCE NEWS (56, 57, 81, 102)**127** NEWS IN BRIEF

ADVERTISEMENT AND ANNOUNCEMENTS (58, 82)

Радиоуглеродный хронометр

В. А. Дергачев



Валентин Андреевич Дергачев, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией космических лучей Физико-математического института им. А. Ф. Иоффе РАН. Область исследования — астрофизика и геофизика космических лучей. Автор более 150 научных работ по различным аспектам этой тематики, в том числе монографии «Применение радиоуглеродного метода для изучения природной среды прошлого» (Л., 1991). В настоящее время научные интересы связаны с исследованиями по космогенным изотопам глобальных особенностей солнечной активности, климата и интенсивности космических лучей в прошлом.

ИЗУЧЕНИЕ взаимосвязи явлений и процессов, протекающих в космосе, околоземном пространстве и на Земле, диктуется не только чисто научной, познавательной стороной проблем астрофизики, климатологии, геофизики, окружающей среды и других областей науки, но и необходимостью решения ряда практических задач. Особенность исследований природных процессов на современном этапе обусловлена остротой, вызванной взаимодействием системы «человек-среда», которое чревато непредсказуемым развитием.

Прямые эксперименты в космосе и наземные исследования дают ценную информацию, отражающую свойства и закономерное развитие космической среды и ряда космических объектов. Однако временная шкала этих экспериментов слишком коротка, чтобы установить все закономерности, присущие тому или иному природному процессу, и вызывающие его изменения причины. Естественно, что ход природных процессов охватывает значительные интервалы времени и причинная обусловленность их развития может быть понята при оперировании с достаточно длинными временными рядами. Для этих целей можно успешно использовать исторические записи полярных сияний; изменяющуюся во времени ширину годичных слоев деревьев, отложенный торфа; распространенность нуклидов в различных геосферах; процессы в биосфере, геологических объектах; сведения о миграции людей в прошлом и т. п.

По-видимому, наиболее ценные данные проистекают из колец деревьев, имеющих абсолютную временную шкалу. Еще в 1892 г. доктор физики, профессор Новороссийского университета В. Ф. Шведов в журнале «Метеорологический вестник» опубликовал статью «Дерево как летопись засух», в которой на основании сопоставления прироста годичных колец спиленных акаций с распределением осадков по нескольким станциям юго-запада России сделал вывод о повторяемости через 9 лет засух на этой территории и указал на воз-

возможность использования дендрохронологических данных в целях прогнозирования природных изменений. Обширные исследования закономерностей колебаний ширины колец деревьев провел в начале нашего века американский астроном А. Е. Дуглас и получил убедительные доказательства влияния циклической деятельности Солнца на рост деревьев¹. Ему удалось «уловить» ясную 11-летнюю периодичность в изменениях прироста колец. По праву Шведов и Дуглас явились основателями дендрохронологии — науки, давшей в руки исследователей важный фактор — время.

После того как американский ученый У. Либби разработал радиоуглеродный метод датировки (за который в 1960 г. получил Нобелевскую премию), были начаты работы по датировке разнообразных событий прошлого по кольцам деревьев, что в археологии принципиально изменило понимание путей развития современной цивилизации. Проверка метода радиоуглеродных часов с помощью годовых колец деревьев известного возраста, начатая в 50-е годы Х. Зюссом², показала, что в современных образцах ход часов нарушается. И это связано с флуктуациями атмосферного содержания радиоактивного углерода: понижением на проценты, вызванным со второй половины прошлого века выбросом в атмосферу большого количества углекислого газа за счет сжигания ископаемого топлива, в котором радиоактивный углерод полностью распался; резким увеличением на десятки процентов с 50-х годов нашего столетия за счет проведенных атомных испытаний в атмосфере. Заметим, что исследователям удалось умело извлечь интересные выводы из этого факта нарушения хода радиоуглеродных часов, вызванного антропогенным воздействием на атмосферный резервуар радиоуглерода в глобальном масштабе (изменение удельной активности углерода в обменной системе более быстрое по сравнению с естественным ходом), а именно, получить детальную картину изменения характеристик обменного углеродного цикла, что чрезвычайно важно для изучения и прогнозирования хода природных процессов.

Вскоре де Врие были продемонстрированы заметные флуктуации атмосферного содержания радиоуглерода вследствие естественных причин³. Автор попытался

скоррелировать экспериментально обнаруженные колебания концентрации радиоуглерода в кольцах древесины и зернах пшеницы за последние несколько сотен лет с изменениями климата.

А после того, как и в более удаленном прошлом в образцах древесины известного возраста были обнаружены нарушения хода радиоуглеродных часов, началось интенсивное изучение естественных причин изменения уровня радиоуглерода. Благодаря этому удалось войти в «соприкосновение» с целым рядом интересных природных событий⁴. Начиная с 1965 г. такие исследования были начаты в нашей стране и в США.

Хотя со времени обоснования метода прошло всего около 40 лет, уже сейчас необычайно широк спектр применения радиоуглерода в различных областях наук: геологии четвертичного периода и палеогеографии, палеоклиматологии и археологии, океанографии и астрофизике, биологии и геофизике и т. д. Вполне определенно можно сказать, что ни один другой радиоактивный изотоп, кроме радиоуглерода, не является столь ценным источником для получения информации во многих областях исследований.

В целом наличие длинных рядов информации (например, содержание радиоуглерода в образцах древесины известного возраста за тысячи лет) о состоянии природных процессов позволяет как исследовать закономерности развития, так и прогнозировать эти процессы. При этом применены спектрального, корреляционного, регрессионного и других методов анализа временных рядов, а также методов топологической динамики способствует не только установлению качественных или количественных сторон характера связей, но и раскрытию некоторых механизмов исследуемых процессов.

ЕСТЕСТВЕННЫЙ РАДИОУГЛЕРОД В ПРИРОДЕ

Известно, что земная атмосфера подвергается непрерывной бомбардировке космических лучей. Нуклонный компонент космических лучей, взаимодействуя с ядрами атмосферных газов, образует ряд космогенных радиоактивных изотопов: ^3H , ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al и др. Детальное исследование этих изотопов стало возможным недавно, лишь

¹ Douglas A. E. *Climatic Cycles and Tree Growth*. Washington, 1919. V. 1.

² Suess H. E. // *Science*. 1955. V. 122. P. 415—417.

³ De Vries H. // *Koninkl. Ned. Acad. Wetenschap*. 1958. V. B61. P. 94—102.

⁴ Дергачев В. А., Векслер В. С. Применение радиоуглеродного метода для изучения природной среды прошлого. Л., 1991.

после того, как была выяснена природа космических лучей, исследована зависимость реакции образования изотопов от высоты, геомагнитных широты и долготы, а также создана весьма чувствительная аппаратура для регистрации чрезвычайно малых количеств и трудно измеряемых низких естественных удельных активностей природных образцов.

Радиоактивный углерод образуется при бомбардировке ядер атомов атмосферного азота нейтронами космических лучей согласно реакции $^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{14}\text{C} + p$. Количество образуемого изотопа ^{14}C в земной атмосфере составляет около 2 атомов за 1 с на 1 см^2 поверхности. Поскольку ^{14}C является радиоактивным ядром, при его распаде возникает стабильное ядро азота и испускаются электрон и нейтрино: $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^- + \nu$.

Химически активный ^{14}C окисляется до $^{14}\text{CO}_2$, диффундирует к нижним слоям атмосферы и перемешивается с обычной углекислотой. Путем фотосинтеза радиоуглерод может быть связан в органических веществах, т. е. попадает в клетки растений, в том числе и в кольца деревьев. Радиоуглерод также поглощается Мировым океаном. Благодаря тому, что времена перехода изотопа ^{14}C в различные резервуары гораздо короче его времени жизни, он равномерно распределен по всему объему обменной системы.

Среднее отношение радиоактивного углерода к стабильному ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$) в атмосферной двуокиси углерода и в живых организмах, соответствующее равновесию с атмосферой и гидросферой, составляет порядка 10^{-12} , поскольку ^{14}C непрерывно воспроизводится в верхней атмосфере Земли падающими на нее энергичными галактическими космическими лучами. Солнечный космический компонент, являющийся интегральным потоком частиц от солнечных вспышек, также может образовывать ^{14}C в отдельных мощных вспышках.

В атмосфере Земли в общей сложности постоянно находится около 80 тонн радиоуглерода. Удельная активность углерода в обменной системе составляет около 15 распадов за 1 мин на 1 г углерода. За 80 лет распадается около 1 % первоначального числа атомов ^{14}C .

Если органическое вещество изолировано от источника образования ^{14}C , то активность радиоуглерода в нем уменьшается по обычному экспоненциальному закону радиоактивного распада: $A_t = A_0 e^{-\lambda t}$, где A_t — удельная активность спустя t лет после выхода образца из обменного резер-

вуара, A_0 — удельная активность в начальный момент $t=0$, λ — постоянная радиоактивного распада. Отсюда легко рассчитать возраст исследуемого образца по оставшейся на момент измерения активности ^{14}C : $t = 0,693 T_{1/2} \ln A_0/A_t$ (где $T_{1/2}$ — период полураспада ^{14}C , равный 5730 годам). Радиоуглеродный метод датировки нашел широкое применение при определении возраста различных явлений, произошедших за последние не более чем 100 тыс. лет.

Концентрацию ^{14}C в прошлом можно установить на основе измерений активности образцов известного возраста. Наилучшим материалом для определения изменения атмосферной концентрации ^{14}C в прошлом является целлюлоза колец деревьев известного возраста. Исследования показали, что каждое кольцо дерева «запоминает» атмосферный ^{14}C в год его формирования. Количество ^{14}C , фиксируемое растущими деревьями, определяется параметрами обмена земного углеродного цикла, включающего атмосферу, гидросферу, биосферу и осадочные породы. Первичный уровень атмосферного ^{14}C может быть рассчитан из измеренной в годичных кольцах деревьев известного возраста активности радиоуглерода с учетом фракционирования изотопов углерода, распада ^{14}C и процедуры нормировки.

Если поток космических лучей постоянен, то общее количество атмосферного ^{14}C должно находиться в вековом равновесии (подвижное равновесие между распадом и образованием ^{14}C). При этом радиоуглеродные часы показывают абсолютное время, что очень важно, главным образом для археологов и геологов, и в меньшей степени — для астрофизиков и геофизиков. Интерес последней группы ученых составляет анализ причин нарушения такого равновесия. В то же время определение флуктуаций содержания ^{14}C в прошлом дает возможность и археологам вносить поправки в радиоуглеродные датировки, т. е. уточнять возраст археологических находок. Отклонения естественного уровня ^{14}C от равновесия можно связать со следующими причинами:

изменения в глобальной скорости образования радиоуглерода, вызванные вариациями потоков галактических и солнечных космических лучей;

изменения в скорости обменных процессов между геохимическими резервуарами вследствие изменений климата;

вариации суммарного углекислого газа (в атмосфере, биосфере, гидросфере и в осадочных породах) за счет измене-

ния во времени параметров углеродного цикла.

Причины изменения содержания ^{14}C , связанные с различными природными факторами, могут отличаться по длительности воздействия (кратковременные, долговременные), по характеру (циклической или импульсной природы) и т. п. Из-за резервуарной емкости атмосферы и относительно большого периода полураспада радиоуглерода атмосфера действует как низкочастотный фильтр, ослабляя амплитуду циклического сигнала, и в особенности короткопериодических колебаний. Так, амплитуда 11-летнего сигнала в содержании ^{14}C уменьшается примерно в 100 раз, типичное ослабление амплитуд для периодов в 200 и 2000 лет составляет порядка 20 и 10 раз соответственно.

Солнечная активность, являясь одной из причин изменения потока космических лучей, может вызывать от цикла к циклу возмущения скорости образования ^{14}C в 10—30 % для различных по мощности циклов, что в концентрации ^{14}C составит всего примерно 0,1—0,3 %, т. е. 11-летний «радиоуглеродный» цикл можно экспериментально «выудить» только очень высокочувствительной аппаратурой. Однако более длительные по времени периоды в высокоточных измерениях активности ^{14}C в последовательностях годовичных колец имеют больше возможностей для их убедительной регистрации. Так, для циклических изменений концентрации ^{14}C , имеющих длительность 100—200 лет, амплитуда достигает уже 1—2 %, что почти на порядок выше.

Для циклических процессов важно также учитывать заметную временную задержку между практически мгновенными изменениями в образовании ^{14}C в верхней атмосфере и результирующими вариациями распространенности радиоуглерода в биосфере. Этот сдвиг приводит к смещению всех эффлеров во времени. Так, 11-летний «радиоуглеродный» цикл должен отставать на три-четыре года от цикла солнечных пятен, а, например, 200-летний цикл будет запаздывать от соответствующего 200-летнего солнечного цикла примерно на 20 лет и т. д.

МОЖНО ЛИ ПОЛНОСТЬЮ ДОВЕРЯТЬ РАДИОУГЛЕРОДНЫМ ДАННЫМ?

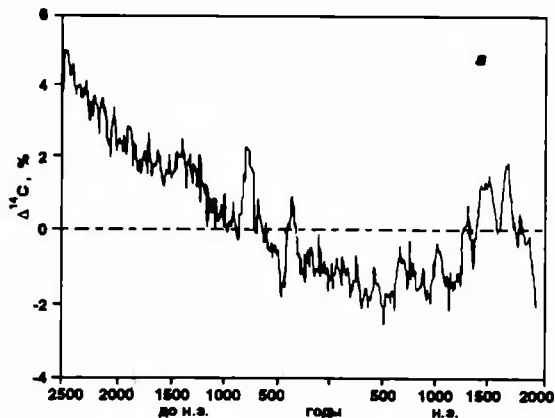
Можно считать, что только благодаря начатым Зюссом в Калифорнийском университете и продолженным им затем в течение 20 лет измерениям активности ^{14}C в образцах известного возраста, радиоугле-

род в кольце дерева получил статус нового астрофизического и геофизического индекса — важного «инструмента» исследований природных процессов.

Еще до недавнего времени (всего 10—15 лет назад) даже многие экспериментаторы-«радиоуглеродчики» скептически относились к существованию особенностей, имеющих физическую природу, в измеряемых данных по содержанию ^{14}C в последовательностях годовичных колец и к значащим спектральным линиям, выделяемым в этих данных. Существовал определенный скептицизм относительно возможностей надежного выявления кратковременных колебаний содержания ^{14}C , имеющих физический смысл, а не обусловленных исключительно статистическими флуктуациями и лабораторными ошибками. В большинстве своем ранние результаты отличались большим разбросом, противоречивостью и неспособностью доверию к радиоуглеродному методу. И, по видимому, не случайно в научной печати метод этот часто подвергался критике.

Учитывая потенциальные возможности метода для распространения по всему земному шару корреляций событий в археологии, геологии, геохимии, геофизике и других областях науки, чрезвычайно важна степень доверия для пользователей этого метода, независимо от того, в какой лаборатории произведен анализ или получены конкретные результаты. Все это настоятельно требовало проведения сравнительных анализов измерений, выполненных в различных лабораториях.

Надежность экспериментальных данных по измерению активности ^{14}C определяется точностью измерений и правильностью анализа полученных результатов. Если точность выражается как стандартная ошибка измерений, которую может дать сама конкретная лаборатория, то определение правильного значения измеряемой концентрации ^{14}C связано с дополнительными измерениями и детальным учетом большого числа факторов: точной фиксации уровня радиоуглеродных лабораторных измерений относительного содержания ^{14}C от уровня международного стандарта радиоуглерода; межлабораторным перекрестным сравнением; проверкой качества и унификации радиоуглеродных измерений и др. Такое сравнительное изучение, основанное на добровольном и анонимном участии в организованных лабораторных проверках, было начато в 1979 г., а первые результаты получены в 1982 г. Участвовавшим в проверке лабораториям удалось получить оцен-

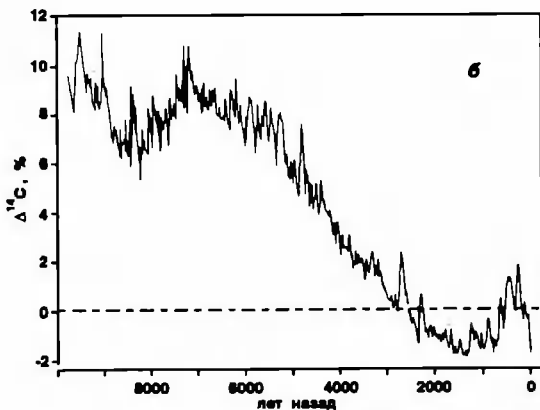


Концентрация радиоуглерода [$\Delta^{14}\text{C}$ — отклонение от уровня международного стандарта радиоуглерода] в образцах долговящих деревьев известной возрасту, измеренная с высокой точностью: а — в блоках древесины по 10-летиям за 4500 лет; б — в блоках древесины по 20-летиям колец за последние 9600 лет. Надежно зафиксированы средневременные флуктуации содержания ^{14}C , имеющие амплитуду изменений до $\sim 2\%$. Амплитуда долговременной флуктуации достигает $\sim 10\%$.

ки экспериментальной точности и правильности выполнения анализов на всех стадиях осуществления довольно тонкого эксперимента — от подготовки образца до получения непосредственных результатов измерений. К 1990 г. было проведено повторное, значительно более представительное (около 50 лабораторий мира) изучение и сделан объективный статистический анализ⁵, что позволило окончательно решить вопрос доверия в пользу радиоуглеродного метода датировки. Скептицизм относительно больших возможностей радиоуглеродных исследований стал спадать. К сожалению, участие радиоуглеродных лабораторий нашей страны в этом сравнительном анализе было недостаточно эффективным.

В настоящее время нет никакого сомнения, что вариации содержания ^{14}C в земной атмосфере в прошлом являются источником важной дифференциальной во времени информации по изучению солнечной активности и других природных процессов на длительной временной шкале, имеющих абсолютную хронологию. Сняты и вопросы, связанные с возможной миграцией ^{14}C из кольца в кольцо дерева, а также с широтной и высотной зависимостями.

В целом, накопленный к настоящему времени надежный экспериментальный

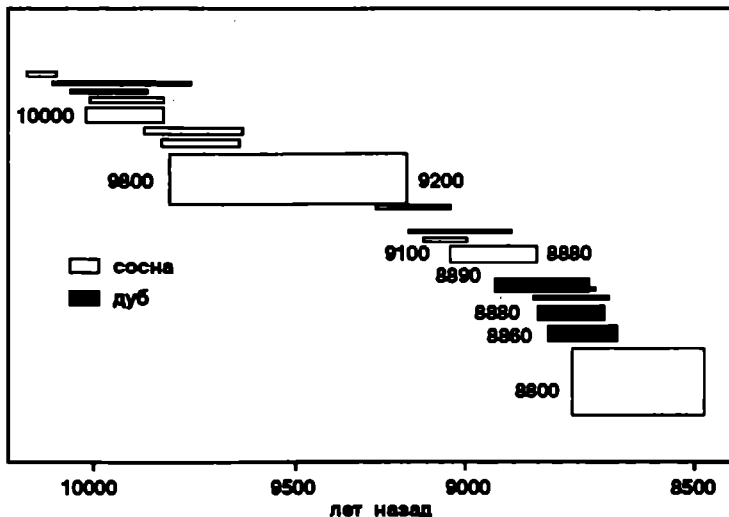


материал по содержанию ^{14}C в образцах известного возраста показывает на возможность селективного выделения из радиоуглеродных данных информации, порожденной комплексом интерферирующих астрофизических и геофизических процессов. Даже малый тип колебаний в таких данных превышает экспериментальный шум, а также случайный окрашенный шум. Тем не менее при выделении и интерпретации кратковременных циклических флуктуаций содержания ^{14}C необходимо быть чрезвычайно осторожным, ибо при спектральном анализе рядов данных с мощным шумовым компонентом возрастает проблема отделения истинных гармоник, присутствующих в исходном сигнале, от спектра выборочной реализации случайной составляющей, которая дает ложные спектральные линии.

В последние годы после решения хронологических проблем получены наиболее длинные ряды экспериментальных данных по содержанию ^{14}C в кольцах деревьев известного возраста⁶, включающие 10- и 20-летние образцы, т. е. образцы, содержащие по 10 или 20 колец каждый. Типичная точность этих данных, выполненных довольно тщательно, составляет для последних почти 7000 лет примерно $\pm 0,2\%$, а для интервала 7000—9600 лет назад — около $\pm 0,5\%$. В содержании ^{14}C на большой временной шкале выделяется долговременный ($\sim 10\,000$ лет) квазисинусоидальный тренд с амплитудой до $\sim 10\%$ и средневременные колебания (характерная шкала времени в 100—200 лет), именуемые также «вариациями де Врие» с амплитудой до $\sim 2\%$. В погодичных измерениях выделяются кратковременные колебания длительностью примерно 10 лет и амплитудой, не превышающей $0,5\%$.

⁵ Cross Check ^{14}C . // Radiocarbon. 1990. V. 32, N 3. P. 253—397.

⁶ Calibration Issue // Radiocarbon. 1985. V. 28. N 2B. P. 805—1030.



Пример разработки хронологии по сосне и дубу, охватывающей последние 10 тыс. лет для Европы. Высота прямоугольника прямо связана с обилием найденного ископаемого материала. Так, совсем узкие прямоугольники относятся к отдельным деревьям; широкие прямоугольники включают многие деревья. Надежно обеспечена шкала по сосне для последних 8800 лет. Видно, что на европейской территории дуб встречается только примерно до 9 тыс. лет назад, а период 9200—9800 лет назад был наиболее благоприятным для произрастания сосны.

КОЛЬЦА ДЕРЕВЬЕВ ДАЮТ ПРИРОДНЫМ СОБЫТИЯМ ТОЧНУЮ ВРЕМЕННУЮ ШКАЛУ

Уже в течение нескольких десятилетий ученые различных областей науки постоянно приводят доказательства большой важности запаасаемой деревьями информации. Кольца деревьев известного возраста привлекают внимание исследователей как хорошо документированный материал. Считается, что живое дерево в процессе своего роста непрерывно фиксирует многочисленные осцилляции в физическом и химическом состоянии окружающей среды. Ширина кольца дерева является чутким показателем, реагирующим на изменение условий произрастания дерева как в современную, так и прошлые эпохи. Прирост колец дерева зависит от окружающей обстановки и, конечно, от состояния почв. Все химические изменения в почве также должны находить свое отражение в составе колец деревьев.

Хронологические последовательности годовичных приростов колец в деревьях изучает дендрохронология. Корректное применение дендрохронологического метода позволяет устанавливать точное соответствие между отдельными кольцами и годом, в который росло то или иное кольцо. Одной из главных целей современной дендрохронологии является развитие и составление многовековых хронологических шкал. Исходный источник для этого — кривая изменчивости годовичного прироста долгоживущих деревьев, которую сначала составляют для конкретного региона.

Наиболее значительных успехов в этой области достигли дендрохронологи Аризонского университета. На Американском континенте произрастают долгоживущие виды древесных пород. Дендрохронолог Э. Шульман нашел остистую, или долговечную, сосну (*Pinus longaeva*, *Pinus aristata*), которая начала расти 4600 лет назад. Путем сопоставления изменений ширины колец живых и сухих (мертвых) деревьев, древесных фрагментов, а также по чередованию картин широких и узких колец с надежной корреляцией на предшествующие шкалы, построенные по живым деревьям К. Фергюссону удалось получить наиболее длинную хронологию колец, охватывающую последние 7104 года. Недавно хронология по остистой сосне была расширена до 8700 г. от современности.

В холодном влажном климате Западной Европы нет долгоживущих деревьев, однако в заболоченных местах условия являются вполне подходящими для сохранения древесины. Кроме того, объектами изучения дендрохронологов могут быть имеющиеся здесь многочисленные памятники архитектуры и разные археологические объекты. Создание многовековых абсолютных дендрохронологических шкал в Европе осуществляют с помощью метода перекрестной датировки и временного наложения. Для определения абсолютного дендровозраста «плавающих» хронологий, т. е. рядов колец деревьев, точно не привязанных к настоящему времени, успешно используется радиоуглеродный метод определения возраста образцов в совокупности с методом перекрестной датировки. Пу-

тем перекрестной датировки двух отдельных хронологий по дубу для Северной Ирландии и Германии была создана европейская хронологическая шкала длительностью в 7272 года. Хронологии колец деревьев по европейским ископаемым остаткам дуба и сосны практически без разрывов покрывают последние 11 тыс. лет. Радиоуглеродная калибровка дает возможность расширить хронологию по деревьям до 13 300 лет. Используя отложения ленточных глин и ископаемых остатков растений, осевших в озерных отложениях, можно изучать причины вариаций содержания ^{14}C вне пределов дендрохронологической шкалы.

Дендрохронологи дают не только точную временную шкалу изучаемым пробам, но также и обеспечивают радиоуглеродные лаборатории образцами древесины для исследований. Дендрохронологические исследования могут быть полезны для решения ряда проблем, связанных с окружающей средой. Изучение климатических и экологических аспектов является первостепенным для дендроклиматохронологии. По этой причине информация, содержащаяся в годичных кольцах деревьев, имеющих абсолютную временную шкалу, приобретает все большую ценность.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ^{14}C В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНЕГО ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ

Известно, что поток космических лучей непостоянен, а следовательно, и скорость образования радиоуглерода меняется во времени. Хорошо установлен эффект влияния солнечной модуляции на поток галактических космических лучей, а также ее воздействие на образование ^{14}C . Этот поток, достигающий поверхности Земли, «обратно коррелирует» с 11-летним циклом солнечной активности. Между результатами измерений концентрации ^{14}C и числами солнечных пятен удалось установить следующее соотношение: когда солнечная активность высока, Земля сильнее экранирована от галактических космических лучей и образование ^{14}C уменьшается; когда же солнечная активность низка, в окрестности Земли растет поток космических лучей и, соответственно, сильнее генерируется ^{14}C . Важно также учитывать и другие эффекты. Наиболее очевидный — это изменяющаяся во времени напряженность магнитного момента Земли.

На коротких временных шкалах тонкая структура в годичных уровнях ^{14}C может быть связана с 11- или 22-летней сол-

нечной циклической модуляцией потока космических лучей. Заметим, что высокоточные погодичные измерения атмосферного уровня активности ^{14}C , полученные по кольцам деревьев, выполнены различными лабораториями только на некоторых ограниченных временных интервалах, простирающихся всего на несколько лет или несколько десятков лет. Ограничение это вызвано узостью отдельных колец деревьев и сравнительно большим количеством древесины, необходимой для радиометрического измерения одного образца (составляющего от 50 до 200 г в зависимости от типа древесины и способа химической обработки).

Интересными оказались исследования содержания ^{14}C в земной атмосфере для временного интервала, начинающегося с 1700 г. (имеются надежные данные по числам солнечных пятен) и простирающегося до конца настоящего столетия (период времени с конца XIX в. подтвержден действию антропогенных факторов, влияющих на уровень естественной активности радиоактивного углерода). Они продемонстрировали, что существуют циклические вариации содержания ^{14}C , хотя некоторые экспериментальные результаты все еще остаются противоречивыми. Как указано выше, эффекты 11-летнего «радиоуглеродного» цикла незначительно превышают неопределенность измерений. Кроме того, неопределенности присущи и солнечной модуляции потока космических лучей, и параметрам обменной системы радиоуглерода. Анализ погодичных данных содержания ^{14}C в кольцах деревьев⁷, в винах⁸, а также ряда чисел солнечных пятен, проведенный с помощью автокорреляционной функции, и спектр радиоуглеродных данных показывают наличие 11-летней цикличности на 95 %-ном доверительном интервале и ее корреляцию с числами солнечных пятен в течение четырех солнечных циклов (с 15-го по 19-й) со средней амплитудой $0,43 \pm 11\%$ в винах и примерно вдвое меньшей — в кольцах деревьев.

Установленное соотношение между числами солнечных пятен и образованием ^{14}C в течение 11-летних солнечных циклов для современного периода наблюдений за Солнцем можно использовать, чтобы смоделировать поведение содержа-

⁷ Stuiver M., Quay P. D. // Science. 1980. V. 9. P. 1—20; Damon P. E., Cheng S., Linick T. W. // Radiocarbon. 1989. V. 31. P. 704—718.

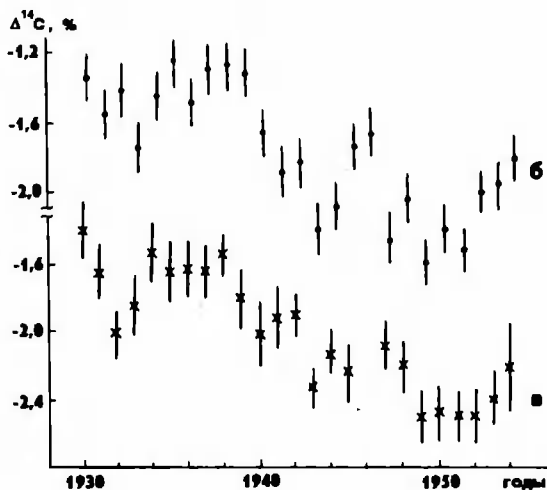
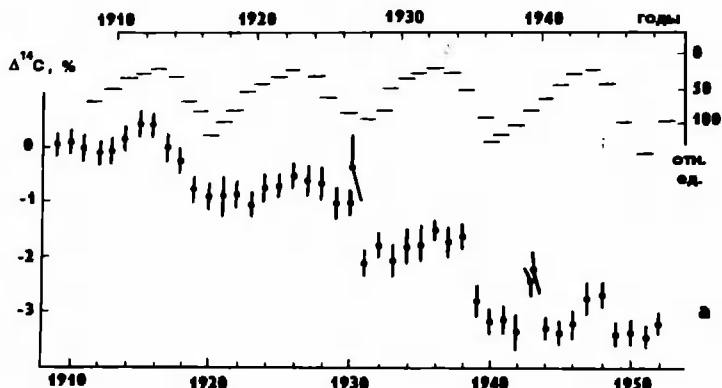
⁸ Burchuladze A. A., Pagava S. V., Povinec P. et al // Nature. 1980. V. 287. P. 320—322.

Результаты измерения содержания радиоуглерода от года к году: а — в образцах грузинских виш [~38° с. ш., ~45° в. д.]; б и в — в кольцах деревьев, произрастающих на разных высотах и широтах [б — 32°26' с. ш., 110°47' з. д., высота 2740 м над ур. м.; в — 47°46' с. ш., 124°09' з. д., на уровне моря. Штриховой линией представлена солнечная активность с учетом запаздывания концентрации ^{14}C относительно солнечного цикла.

Четко выделяется тонкая структура в погодичных измерениях концентрации ^{14}C . Несмотря на то, что образцы относятся к разным высотам и широтам и к районам, в которых влияние промышленного эффекта от сжигания ископаемого топлива на уровень содержания ^{14}C разное, кривые хорошо воспроизводятся, и каждая из них показывает все общие наиболее значимые особенности.

ния ^{14}C для более ранних промежутков времени. Простая модель солнечной модуляции, основанная на таком соотношении, была использована для сопоставления экспериментальных и расчетных значений содержания ^{14}C за последнее тысячелетие. Было показано, что эта простая модель, расширенная на недалекое прошлое, может воспроизводить по амплитуде и положению наблюдаемые увеличения космогенного ^{14}C . Таким образом, благодаря знанию поведения космогенного изотопа и его скорости образования, можно как восстановить, так и предсказать его концентрацию на различных временных шкалах.

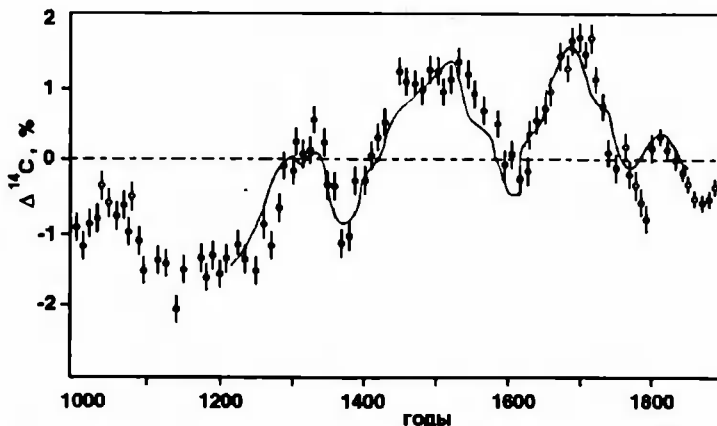
Результаты измерений содержания ^{14}C в образцах, охватывающих последнее тысячелетие, показывают значительные его осцилляции, длительностью в несколько десятков лет. Такие длительные повышения концентрации ^{14}C можно соотнести с экстремально низкой солнечной активностью. Тем более, и в поведении Солнца в XVII—XVIII вв. (приходящихся как раз на наиболее примечательное повышение уровня ^{14}C) надежно установлено резкое ослабление солнечных пятен — маундеровский минимум. В работе В. А. Дергачева и В. С. Векслера показано, что маундеровский минимум солнечной активности дает нам ключ к интерпретации солнечных эффектов в истории ^{14}C и уверенность в описании других подобных отклонений содержания ^{14}C за счет влияния Солнца. Обстоятельство это и было использовано как мера обнаруженных повышений в уровне радиоуглерода соответствующими миниму-



мами солнечной активности: минимумом Шперера (XV—XVI вв.) и минимумом Вольфа (XIII—XIV вв.) и более ранними.

Каждый из этих минимумов отстоит друг от друга в среднем на 200—210 лет. Что касается минимумов содержания ^{14}C , то они могут быть связаны с высокой солнечной активностью. Например, минимум концентрации ^{14}C , приходящийся на XII—XIII вв. (на период так называемой «средневековой эпохи потепления»), по летописям, свидетельствует о высокой активности Солнца в ту эпоху. Таким образом, видно, что отклик атмосферной концентрации ^{14}C на экстремальное поведение солнечной активности, по крайней мере для последнего тысячелетия, вряд ли случайно. Иначе говоря, эти данные свидетельствуют в пользу гелиомодуляции потока космических лучей.

Сопоставление измеренных значений концентрации ^{14}C в земной атмосфере для последнего тысячелетия [точки] с рассчитанными по модели [сплошная линия]. Заметны выразительные пики концентрации ^{14}C , приходящиеся на периоды исторически зафиксированной уменьшенной солнечной активности — минимумы: Маундера [1645—1715 гг.], Шперера [1420—1530 гг.] и Вольфа [1280—1340 гг.]. Значительное понижение уровня ^{14}C в течение XII—XIII вв. связано, по-видимому, с влиянием высокой солнечной активности.

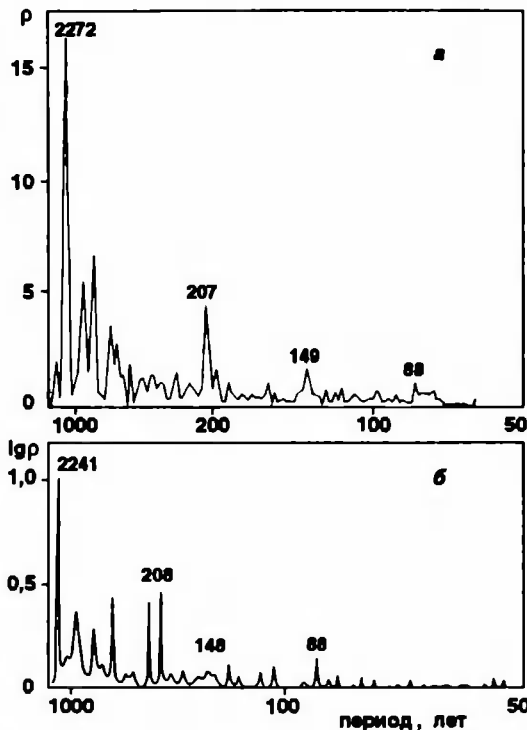


Встает вопрос: регулярны или случайны такие проявления солнечной активности в более удаленном прошлом. Ответ можно получить из длинных рядов наблюдений природных событий, используя разнообразные методы статистического анализа временных рядов.

210-ЛЕТНИЙ ЦИКЛ И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

В последние годы проведена успешная работа по использованию статистических методов в различных областях науки и техники, в том числе и для исследования закономерностей поведения концентрации ^{14}C в конкретных рядах измерений, что позволяет получать информацию о физических процессах (астрофизического или геофизического характера). Учитывая, что ряды характеристик исследуемых природных процессов имеют ограниченную длину, успех зависит от того, насколько точно обеспечено достоверное представление об основных характеристиках процессов, с которыми связаны эти данные. В конечном счете, понимание исследуемого процесса зависит от качества и достоверности оценки спектра по данным конечной протяженности.

Данные по содержанию ^{14}C в кольцах деревьев имеют хорошо определенный спектр. В вариациях содержания ^{14}C содержатся многочисленные периоды, простирающиеся от 11 до ~2400 лет. Точные значения периодов до некоторой степени изменяются в зависимости от используемого алгоритма. Спектральные характеристики сильно уменьшают амплитуду колебаний при уменьшении периода, что связано, как указывалось выше, с емкостью атмосферного резервуара. Наибольшая мощность оказывается для больших периодов. Важно заме-



Спектральная плотность мощности ρ концентрации ^{14}C [согласно данным, приведенным на рис. 1] после удаления долговременного тренда, полученная: а — с помощью дискретного фурье-преобразования; б — методом максимальной энтропии. Цифрами выделены наиболее характерные общие периоды, полученные различными методами.

тить, что этот спектр подвержен определенным ошибкам, как в амплитуде, так и в линейной частоте. Кроме того, полученные спектры несколько изменяются и при использовании различного моделирования.

У исследователей мало сомнений относительно фундаментальных периодов

~2400, ~210, ~90 лет, ~22 года, существующих в радиоуглеродном спектре. Этим периодом отвечают, как правило, спутательные линии.

Выше, на основании рассмотрения радиоуглеродного ряда за последнее тысячелетие, сделан вывод, что присутствие 210-летнего периода в спектре ^{14}C является, по-видимому, результатом модуляции потока космических лучей за счет изменения магнитных полей в гелиосфере с таким же периодом. Вариации солнечной активности, связанные с существованием длительных минимумов пятнообразовательной деятельности Солнца и малым числом полярных сияний в эти эпохи (типа эпохи Маундера 1645—1715 гг., Шперера 1420—1530 гг., Вольфа 1280—1340 гг., Оорта 1010—50 гг. и современный минимум ~1900 г.), в настоящее время находятся под пристальным вниманием исследователей. Эти минимумы разделены примерно 200-летним интервалом.

Сейчас накопилось достаточно доказательств в пользу того, что 210-летний тип вариаций содержания ^{14}C вокруг главного тренда вызывается солнечным циклом такой же продолжительности. Британский ученый Дж. Шове был, по-видимому, одним из первых, кто сделал вывод о существовании примерно 200-летнего цикла в изменении чисел солнечных пятен, восставливая годы максимумов 11-летних циклов пятен, видимых невооруженным глазом в период между 290 и 1610 гг. Им было установлено, что в четные столетия число полярных сияний оказывается выше, чем в нечетные. В последнее время проводится ревизия каталогов пятен, видимых невооруженным глазом, в Китае, Японии, Корее и в арабских странах. Спектральный анализ наиболее полной систематической регистрации солнечных явлений в Китае с 206 г. до н.э. и до наших дней, выполненный недавно Ху Жентао, показал наличие в этих данных наиболее значительных гармоник в 210 и 11 лет.

Все более и более фактов свидетельствует в пользу глобального проявления периодичности примерно 200 лет в различных природных процессах. В. А. Алексеевым (в падении хондритов на основе статистического анализа падений метеоритов) наряду с ~11- и 90-летней волнами, была установлена и волна в 220 ± 20 лет. Итальянскими учеными — Дж. Кастаньоли и его сотрудниками — выявлена периодичность ~206 лет в изменении содержания CaCO_3 в морских ядрах и т. д. Кроме этого, такие закономерности подтверждаются ре-

зультатами изотопного анализа содержания ^{10}Be в ядрах льда: Н. Оешгер и Дж. Бир показали, что синхронность и величина изменений концентрации по ^{10}Be и ^{14}C хорошо согласуются.

В работе В. А. Дергачева и В. Ф. Чистякова показано, что Солнце влияет и на скорость образования ^{14}C (через модуляцию интенсивности космических лучей), и на земной климат (через вариации солнечной постоянной)⁹. Хотя доказательства прямой связи между потоком солнечного излучения и его активностью по результатам эксперимента Solar Maximum — Solar Minimum Mission, показывающие возрастание и падение солнечного излучения в течение солнечного цикла, получены только для последних 10 лет. Правда, на основе анализа переменной Солнца и звезд Дж. Герард делает вывод о возможности переменной полной светимости Солнца не только с установленным ~11-летним периодом, но и с 80—90-летним и более длинными периодами. Интересно, что 210-летние спектральные характеристики детектируются в спектре изменения ширины колец деревьев, связывая, таким образом, солнечную активность и температуру — одну из характеристик климата.

К. Соне и Х. Зюсс показали, что существует корреляция между спектром ^{14}C и спектром вариаций прироста колец остистой сосны из Восточной Калифорнии¹⁰. Автоспектры содержания ^{14}C и прирост этих деревьев оказались подобными. Кроме того, оба ряда данных обратно коррелируют в том смысле, что наличие более толстых колец у деревьев (быстрый прирост) связано с более высокими температурой и солнечной активностью, а последняя означает большую модуляцию и, следовательно, уменьшенное образование ^{14}C . В таком случае, если существует, с одной стороны, прямая связь между солнечной активностью глобальной температурой, а с другой — обратная связь между содержанием ^{14}C и солнечной активностью, то 210-летний период должен вносить определенный эффект в климатическую изменчивость ближайшего будущего.

Однако обратимся сначала к ретроспективному рассмотрению. Если 1690-й год идентифицировать как среднюю точку «маундеровского минимума» солнечной ак-

⁹ Дергачев В. А., Чистяков В. Ф. // Солн. данные. 1992. № 2. С. 73—79.

¹⁰ Sonett C. P., Suess H. E. // Nature. 1984. V. 307. P. 141—143.

тивности с 210-летним периодом (учитывая ~20-летнюю временную задержку между максимумом образования и максимумом концентрации ^{14}C), то максимумы ^{14}C должны приходиться на 1710-й, 1500-й, 1290-й и 1080-й годы, а минимумы — на 1815-й, 1605-й, 1395-й и 1185-й. Максимумы или минимумы солнечных пятен должны быть также примерно на 20 лет раньше, чем экстремумы в содержании ^{14}C . Средняя точка последнего относительно слабого 210-летнего минимума пришлось на ~1900-й год. Максимум солнечной активности этого цикла должен находиться в начале следующего столетия, если наблюдаемые периодичности будут сохраняться и впредь.

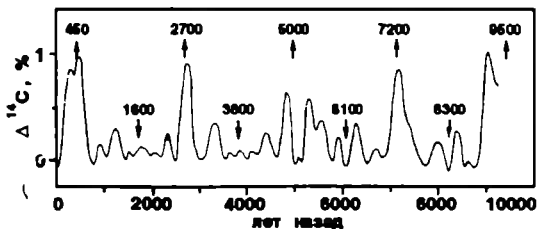
Интересно, что минимумы периода Глайсберга (88—90 лет) попадают на ~1898—1900-й и 1986—1988-й годы, а ближайший максимум должен оказаться в районе ~2030 г. В этом случае и 210-летняя, 88-летняя цикличности солнечной активности обязаны вносить вклад в потепление климата в первой половине XXI столетия. Что же касается более далекого прошлого, то эта волна удивительно хорошо попадает практически на все крупные пики на кривой содержания ^{14}C за последние 4500 и 9600 лет.

2400-ЛЕТНИЙ ЦИКЛ И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Сопоставим наиболее выразительные пики на кривой изменения содержания ^{14}C . Как правило, они объединяют несколько высоких колебаний длительностью в ~200 лет. Можно уловить чередование пиков с довольно определенным периодом — около 2000 лет. Эти сильнейшие особенности очень четко просматриваются как крупномасштабные вариации с периодом ~2400 лет в радиоуглеродном ряду данных за последние 9600 лет после гауссовой фильтрации.

В эпохи, близкие к 1600, 3800, 6100 и 8300 лет назад, концентрация ^{14}C на протяжении по крайней мере тысячелетия была пониженной. Это может свидетельствовать о высокой солнечной активности в названные интервалы. Эпохи ~450, 2700, 5000, 7200 и 9500 лет назад характерны для экстремально низких уровней солнечной активности.

За несколько последних десятилетий собрано достаточно много данных по историческому изменению характеристик глобального климата, по результатам колебаний уровней озер, по выводам кислородного анализа и многих других методов исследования. В результате эти данные по-



Крупномасштабные вариации концентрации ^{14}C , выделенные с помощью гауссовых фильтров (стрелки указывают на экстремумы периода ~2400 лет). Эпохи, длительностью в несколько сотен лет, близкие к ~1600, 3800, 6100 и 8300 лет назад, характерны для экстремально низкой солнечной активности, а экстремально высокой солнечной активности соответствуют эпохи ~450, 2700, 5000, 7200 и 9500 лет назад.

зволяют выделить по крайней мере четыре кульминационные фазы синхронного изменения климата в обоих полушариях земного шара:

малая ледниковая эпоха, 560—135 лет назад;

климатический оптимум в раннем средневековье, 1300—800 лет назад;

похолодание «железного» века, 2900—2300 лет назад;

последний климатический оптимум, 6000—7000 лет назад.

Эти фазы хорошо прослеживаются и в изменениях концентрации ^{14}C . Что касается других экстремумов, которые выделены в уровне ^{14}C и могут быть обусловлены колебаниями климата, то в научной литературе можно найти подтверждение этой связи. Так, например, холодный период, наблюдаемый около 5000 лет назад, был выделен по спорово-пыльцевому методу Х. Никольсом в осадках болот из шести различных мест северной Канады. Кстати, им же зарегистрированы и все предыдущие похолодания. Цикличность в ~2400 лет была выделена В. А. Дергачевым и В. Ф. Чистяковым и в радиоуглеродных данных за последние ~14 тыс. лет. Эпохи экстремальных состояний климата с такой цикличностью, накладывающиеся на более долговременные изменения климатических показателей, прослежены для последних более чем 50 тыс. лет.

Трудно перечислить все многочисленные временные ряды различных природных данных, из которых можно получить сведения о ~2000-летнем цикле. Р. Фейрбанкс сделал вывод, что в течение последнего перехода от ледникового периода к

межледниковью (на интервале 14—8 тыс. лет назад) было два импульса таяния ледниковых вод, разделенных промежутком в ~2500 лет. В. Ф. Чистяковым прослежено появление гигантских протуберанцев, свидетельствующих о необычной мощности явлений на Солнце в 1375 и 1385 гг. до н. э. и в 185 и 1239 гг. н. э. Это совпадает с выделенными по содержанию ^{14}C эпохи высокой солнечной активности.

Источник такой цикличности окончательно еще не определен. Сделаны лишь различные предположения, включающие источники как земного, так и внеземного происхождения: К. Крир в 1988 г. исследовал связь между этим 2400-летним компонентом и соответствующим циклом в изменениях геомагнитного поля, А. Пестио и др. в 1987 г. — в данных по концентрации ^{18}O в кернах льда и фораминиферах из кернов океанов. Однако имеются очень слабые основания в пользу предположения, связанного с магнитным полем Земли, поскольку не детектировано никакого изменения периодического компонента геомагнитного поля требуемой амплитуды. Можно попытаться объяснить 2400-летнюю линию в спектре ^{14}C земным происхождением вследствие изменяющихся во времени запасов CO_2 и обменных скоростей в океане. Большинство имеющихся аргументов свидетельствует в пользу того, что 2400-летний цикл связан, возможно, с климатическими характеристиками.

Дендроклиматологические исследования Б. Шмидта по дубу в 1988 г. указывают на то, что малому ледниковому периоду (1500—1800 гг.) предшествовала холодная эпоха, отстоящая на 2700—2350 лет назад. А еще более ранняя холодная эпоха приходится на интервал времени между 5750 и 4750 гг. считая от современности. Эти климатические эпохи отстоят друг от друга на 2200—2400 лет, и каждая из них совпадает с крупными флуктуациями в содержании ^{14}C , что сильно влияет на калибровку радиоуглеродного цикла. Интересно заметить, что пики кислотности в кернах льда, вызванные, по всей вероятности, вулканическими событиями, приходятся на временные интервалы 1400—2200, 3000—3600 и 5200—6400 гг., которые, как следует из радиоуглеродного ряда, совпадают с периодами высокой солнечной активности.

Эти периоды иллюстрируются многочисленными климатическими характеристиками и связанными с ними процессами: подъемом океанов, донными отложениями морей и озер, колебаниями метана в пузырь-

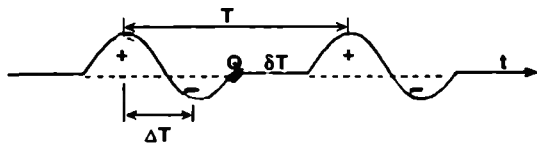
ках льда, видовым составом органического мира в океанах, кривыми изменений среднегодовой температуры воды, результатами пыльцевого анализа, миграцией людей и т. п.¹¹ В схему ~2400-летнего цикла укладывается заселение самых северных палеолитических и неолитических стоянок человека, что также совпадает с эпохами потепления.

Для выяснения естественных источников вариаций климата значительный интерес представляют полученные в 1986 г. Ф. Ротлишбергером уникальные данные по флуктуациям оледенений (наступление и отступление ледников) в течение голоцена для различных районов земного шара: Аляски, Южной Америки, Европейских Альп, Гималаев, Новой Зеландии, Скандинавии. Климатические изменения в наступании и отступании ледников зафиксированы, конечно, главным образом через температуру и осадки, но несомненно, что их флуктуации отражают изменения глобальной средней температуры. В комбинациях данных по осцилляциям оледенений можно выделить девять холодных интервалов. Из них наиболее мощные и продолжительные, длительностью в ~500 лет, приходятся на ~300, ~3300, ~4600, ~7400 лет назад, а интервалы меньшей длительностью — на ~600, ~1100, ~1400, ~2150 и ~2650 лет назад.

И наконец, приведем возможную структуру 2400-летнего солнечного и климатического цикла, которая начинает вырисовываться из анализа имеющихся данных.

Установлено, что на шкале времени, характеризующей этот периодом, наблюдается повторение теплых и холодных эпох (малых климатических оптимумов и малых ледниковых периодов), их наблюдают как до оледенения, так и во время оледенения и после него. Усиление солнечной активности сопровождается потеплением климата и наоборот. Так, двум сильным ослаблениям солнечной активности (маундеровскому минимуму в XVII в. и шпереровскому минимуму в XV в.) предшествовал средневековый максимум солнечной активности в X—XIV вв. Удастся выделить три фазы этого цикла: активную, фазу депрессии и спокойную. Активной фазе соответствует высокий уровень солнечной активности и малый климатический оптимум, фазе депрессии — ослабление солнечной активности типа минимумов Маунде-

¹¹ Дергачев В. А., Чистяков В. Ф. Солнечный цикл. СПб., 1993. С. 112—130.



Структура 2400-летнего цикла: T — период, δT — спокойная фаза, ΔT — промежуток времени между экстремумами активной фазы и фазы депрессии, Q — современная эпоха, t — текущее время. Следуя данному рисунку, можно сказать, что активность Солнца в своей эволюции выходит или уже вышла на спокойную фазу.

ра и Шперера и, соответственно, малый ледниковый период. Последняя фаза следует за активной. Оценки В. Ф. Чистякова дают для спокойной фазы значение ~ 800 лет. В среднем такой же величины могут быть оценены и активная фаза, и фаза депрессии.

Последняя глубокая депрессия солнечной активности (минимум Маундера) закончилась в начале XVIII в. На протяжении последующих столетий происходил прогрессивный рост (в сочетании с вековыми и 11-летними циклами) солнечной активности, а климат становился теплее. Наиболее мощным был 19-й солнечный цикл с максимумом в 1957 г. В следующих за ним циклах уровень активности был ниже. Судя по всему, многовековой рост солнечной активности уже прекратился. Современный уровень активности Солнца и состояние климата соответствуют, скорее всего, уже спокойной фазе 2400-летнего цикла (при

относительно высокой солнечной активности), которая будет длиться несколько столетий. Процессы на Солнце, происходящие в настоящее время, находят свое объяснение как результат наложения циклов различной продолжительности на их активной фазе.

Если минимум 2400-летнего периода в климате отнести к середине малого ледникового периода, то ближайший его максимум подойдет примерно к 2700 г. Поскольку этот цикл длинный, его влияние на климат в течение нашего столетия будет мало. Тем не менее должен быть небольшой постоянный вклад в глобальный тренд потепления, который продолжал существовать на протяжении XX столетия,

Из нашего краткого рассмотрения видно, что радиоуглеродные данные уже сейчас дают чрезвычайно важную и интересную информацию о глобальных природных процессах, связанных с солнечной активностью и изменениями климата.

Радиоуглеродный метод является и, по видимому, долгое время будет оставаться наиболее информативным для детальных исследований природных процессов на временных шкалах, охватывающих несколько последних десятков тысяч лет. Огромны возможности использования радиоуглерода также и в целях решения экологических проблем, связанных с загрязнением всех оболочек Земли углекислым газом при сжигании ископаемого топлива или во время взрывов атомных бомб.

Эти черные — нечерные сланцы

Я. Э. Юдович



Яков Эмильевич Юдович, член-корреспондент Академии естественных наук Российской Федерации, главный научный сотрудник Института геологии Коми научного центра. Область научных интересов — геохимия осадочных пород, и прежде всего пород-биолитов. Участник международных проектов: «Металлоносные черные сланцы» (проект 254) и «Неопротерозойские события и ресурсы» (проект 320).

В ПОСЛЕДНИЕ десятилетия англоязычный термин «black shale» — «черный сланец» — оккупировал геологическую литературу всего мира. Осыпая это нелепое сочетание слов справедливыми проклятиями, «здравомыслящие» геологи тем не менее вынуждены им пользоваться — если, конечно, хотят, чтобы их понимали коллеги. Все попытки внедрить в геологический лексикон что-то более соответствующее объекту, например «углеродистые породы», заметных результатов не дали: черносланцевый вирус оказался неискореним.

Легко себе представить негодование многих геологов. Ведь «черным сланцем» может оказаться горная порода, которая,

во-первых, не черная, а во-вторых, не сланец!

Например, знаменитый ухтинский доминик (верхний девон) — желто-коричневый, меловые сапропели Атлантики — оливково-зеленые, а богатые графитом архейские гнейсы — серые. При этом из перечисленных только последние можно без натяжки отнести к «сланцам», т. е. породам метаморфическим, тогда как первая и вторая — бесспорно, осадочные породы.

Это американцы, для которых законы не писаны, могут позволить себе такую вольность: у них и shale — сланец, и slate — опять же сланец. Но у нас shale можно в лучшем случае перевести как глинистый сланец, а в худшем как аргиллит, который отнюдь не является метаморфической породой. А вот slate — это действительно метаморфическая порода, «настоящий» сланец...

Едва пережив шок, связанный со столь бесцеремонным заимствованием «метаморфического» термина для обозначения горных пород иного генезиса, здравомыслящий геолог должен претерпеть еще одно унижение. На худой конец он может согласиться назвать сланцем пусть и не настоящий метаморфический сланец, но по крайней мере породу алюмосиликатную, существенно глинистого состава. Так нет же — некоторые безумцы и сотрясатели основ (в их числе и автор этих строк) всерьез предлагают именовать «черными сланцами» породы не только существенно глинистые, но также и кремнистые, и карбонатные, и даже фосфатные (!). Вот до чего мы докатились — можно ли далее мириться с таким вопиющим пренебрежением логикой, традицией и здравым смыслом?! Желтый ордовикский кукерсит Прибайтики (породу с карбонатной минеральной матрицей) обозвать «черным сланцем»!

Но что же делать? Как добиться того, чтобы не потерять совершенно реальные горные породы и в то же время найти для них такое название, с которым бы все согласились?

В подобных ситуациях всегда есть два

выхода: один, основанный на принципах, другой — беспринципный. Например, если задаться целью не поступаться принципами, то надлежит издать грозный указ, согласно которому с такого-то числа вместо логичного и благозвучного (!) термина «приватизационный чек» всем гражданам Российской Федерации запрещается употреблять нелепое и уродливое слово «ваучер», которое вдобавок означает даже и не «чек», а просто «расписку». Однако если думать не о принципах, а о пользе дела, то не грех последовать народной мудрости: «Назови хоть горшком, только в печь не сажай».

Приступая в 1977 г. к систематическому изучению геохимии «черных сланцев» севера Урала, мы выбрали именно второй путь. Мы соглашались именовать ЭТО «хоть горшком», но хотели точно представлять себе, что же нам все-таки предстоит изучать. Ведь сами-то объекты изучения были совершенно реальны: они занимали огромные площади и слагали сотни метров геологического разреза.

Прежде всего мы попытались понять, что в этом объекте главное, а что можно считать второстепенным. И почему геологи — как бы яростно они ни препирались о содержании термина — тем не менее понимают друг друга, когда произносят магическое словосочетание «черные сланцы»?

Оказалось, что термин «черные сланцы» не так уж и безнадежен. Если, конечно, не впадать в языковой пуризм и помнить, что даже такой устоявшийся термин, как «а-том» (неделимый), на самом деле неправильный, поскольку атомы, как известно, делятся. И ничего — живем ведь с атомами, а не с «томами».

Во-первых, это осадочные или осадочно-метаморфические породы. И при этом как раз несущественно, осадочные они или же метаморфические: shale или slate.

Во-вторых, это породы углеродистые, т. е. содержащие биогенный органический углерод $C_{орг}$ в концентрации выше средней. Что конкретно означает «выше» — это уже детали, о которых нетрудно договориться, тем более что разброс мнений здесь невелик. Одни считают — больше 1 % $C_{орг}$, другие — больше 0,5 % $C_{орг}$. Мы приняли первое для пород осадочных и второе для пород метаморфических (которые при метаморфизме потеряли как минимум половину первоначального содержания $C_{орг}$).

В-третьих, это породы хотя и углеродистые, но безусловно не угли и даже не углистые породы. Между ними есть существенное геохимическое различие. Если разбу-

дить геохимика среди ночи и спросить: «Какой редкий элемент характерен для углей?» — он тут же ответит: «Германий». «А какой редкий элемент характерен для черных сланцев?». Он не сразу, но тоже уверенно скажет: «Молибден!»

И если теперь коварно спросить: «А почему так?» — геохимик скорее всего замешкается (ибо на самом деле вопрос очень трудный), но все же скажет что-то вроде того, что, мол, у черных сланцев и углей разные условия образования.

Вот именно! Подавляющее большинство черных сланцев — это бывшие морские осадки, тогда как угли и сопровождающие их углистые породы — это продукт наземного континентального литогенеза. Используя счастливую терминологическую находку сибирского геохимика-нефтяника А. Э. Конторовича, можно сказать, что в углях доминирует терригенное органическое вещество (ОВ), а в черных сланцах — аквагенное¹. Первое в основном происходит из остатков высших растений и давно получило название «гумусового» — именно такое ОВ доминирует в гумусе почв и современных торфах. Тогда как главными биопродуктами аквагенного ОВ являются богатые липидами водоросли, бактерии и простейшие животные — такое органическое вещество геологи-нефтяники именуют сапропелевым.

В-четвертых, вещественный состав черных сланцев, их конкретный литологический тип — это тоже признак не главный, хотя и очень важный. Конечно, среди черных сланцев много глинистых пород, но много и кремнистых. А с ними тесно ассоциируются углеродистые доломиты, углеродистые известняки, углеродистые фосфориты. Есть даже углеродистые железные и марганцевые руды, углеродистые песчаники... Изгнать их из числа «черных сланцев» было бы неправильно, так как все они обладают главным родовым признаком — обогащены аквагенным ОВ.

В-пятых, к неудовольствию ревнителей русской словесности, некоторые из черных сланцев — породы не только не метаморфические, но даже и не сланцевые. Таковы, например, черные кремнистые плитки, называемые фтанитами или лидитами. Обычно они переслаиваются с настоящими глинисто-кремнистыми сланцами, дающими в обнажениях плитки, иногда не толще буmajного листа. Так что же — искусственно разорвать эту теснейшую парагене-

¹ Конторович А. Э. Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. М., 1976.

тическую ассоциацию горных пород, выкинуть из нее фтаниты и оставить термин «черные сланцы» только для переслаивающихся с ними сланцев? Но ведь мы видим все переходы от массивного фтанита до тонко разлистованного сланца — текстура породы определяется только количеством глинистой примеси и ничем больше. Для литолога в данном случае важнее различие в содержании кремнистого и глинистого вещества, а для геохимика — родовое сходство этих пород: обогащение тех и других аквагенным ОВ. Именно это и определяет всю их геохимию.

В итоге этих размышлений родилось на свет «беспринципное», зато очень удобное и емкое определение: **черные сланцы — это водно-осадочные горные породы, обычно темные, пелитоморфные и сланцевые, обогащенные сингенетичным органическим веществом преимущественно аквагенного и отчасти терригенного типа.**²

О главном — обогащении аквагенным ОВ — мы уже говорили. Но и другие слова этого определения обойти нельзя. Так, «водно-осадочные» сказано для того, чтобы отделить черные сланцы от таких субаэральных образований, как торфя (угли) и почвы. Слово «обычно» подразумевает статистическую природу перечисленных признаков, которые наблюдаются часто, но не всегда. Термин «сингенетичный» употреблен для того, чтобы не было соблазна отнести к черным сланцам породы с миграционным, эпигенетичным ОВ — например, какой-нибудь нефтенасыщенный алеврит. Наконец, слово «преимущественно» отражает тот факт, что в природе аквагенное и терригенное ОВ могут смешиваться. Например, в мелководных прибрежно-морских обстановках палеозоя в осадок могло поступать много гумусовых кислот из прибрежных болот. Подмешиваясь к аквагенному морскому ОВ, они изменяли его геохимические характеристики.

ЧЕМ ИНТЕРЕСНЫ ЧЕРНЫЕ СЛАНЦЫ?

Кинувшись без разбега в дебри терминологической дискуссии, мы забыли сообщить читателю, вокруг чего, собственно, разгорелся сыр-бор, чем интересны черные сланцы. Спешим исправить свою оплошность, хотя и без того, наверное, понятно, что из-за объекта неинтересного, не имеющего практической важности, никто копий

ломать не будет. И действительно, черные сланцы представляют интерес для геолога почти любого профиля.

Для геохимика это геохимически аномальные образования. В черных сланцах обнаружены мощные геохимические аномалии урана, золота, молибдена, ванадия, фосфора, серы, селена, цинка, кадмия, рения и ряда других элементов. В последние годы началось усиленное изучение таких экзотических элементов, как платиноиды. В недалеком будущем можно ожидать в этой области сенсационных результатов.

Для литолога черные сланцы — это прежде всего скопления органического вещества, примешанного к минеральной матрице чуть ли не любого состава: глинистого, песчано-алевритового, карбонатного, кремнистого, туфового. Вдобавок эти породы формируются как в аридной, так и в гумидной климатической обстановке.

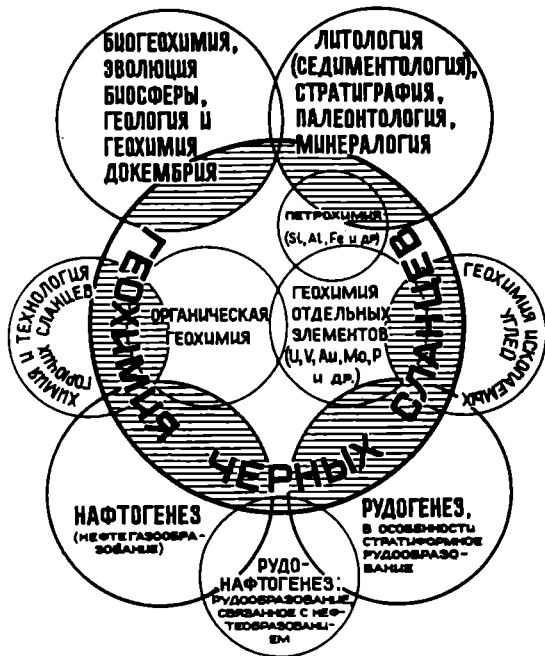
Для минералога это — средоточие редких и весьма редких минералов, как гипогенных, так и гипергенных. В частности, с черными сланцами генетически связаны сульфиды и селениды меди, свинца, цинка, никеля, кобальта, ванадия и марганца, окислы и гидроокислы ванадия, фосфаты меди, алюминия и урана, силикаты ванадия, хрома и марганца, арсенаты железа, фосфато-сульфаты железа и алюминия, сульфато-ванадиты цинка, никеля и алюминия, сульфаты железа, свинца и меди, ванадаты алюминия свинца, цинка, никеля и урана, фосфато-ванадаты железа и алюминия и, наконец, ряд «органических» минералов и минералоидов, таких как абельсонит (никелевый порфири), тухолит и вевеллит³.

Впрочем, черные сланцы — не просто вместилище редких и экзотических минералов, с ними оказались связаны и месторождения самоцветов. По свидетельству А. А. Беуса, знаменитые месторождения изумрудов в Колумбии представляют собой сеть белых кальцитовых жилков, залечивающих зоны тектонического дробления в черных, марающих руки сланцах⁴. В этих прожилках и сидят кристаллики изумруда, обычно в ассоциации с пиритом и микроскопическими выделениями альбита. Но если бериллий, кальций и натрий, согласно Беусу, привнесены в сланцы горячими эндогенными растворами, то не «обязан» ли изумруд

³ Юдович Я. Э. Геохимические особенности аутогенной минерализации в черных сланцах. Сыктывкар, 1990; Он же. Геохимические функции черных сланцев в эпигенетическом рудообразовании. Сыктывкар, 1991.

⁴ Беус А. А. Путешествие в тропики за самоцветами. М., 1992.

² Юдович Я. Э. Геохимия черных сланцев. Л., 1988. С. 10.



Взаимоотношения геохимии черных сланцев с родственными дисциплинами и научными направлениями, показанные с помощью кругов Эйлера (заштрихованы области перекрытия).

своим рождением именно черным сланцам, как возможному источнику хрома? Ведь изумруд — это берилл с примесью хрома, а хром — элемент, весьма характерный для многих черных сланцев.

Для стратиграфа и палеонтолога черные сланцы — это, как правило, отчетливые стратоны, обозначающие некоторые важные рубежи в истории стратисферы. По пластам или пачкам пластов черных сланцев нередко удается провести корреляцию разрезов удаленных регионов, с ними связаны резкие изменения численности и таксономического разнообразия ископаемых биот. Образно говоря, это некие «черные страницы» в каменной летописи биосферы⁵, озаменованные резко повышенной против нормы «утечкой» углерода из биосферного цикла в стратисферу⁶.

Для геолога-рудника они представляют собой интригующие объекты, с которыми то непосредственно — генетически, то косвенно — парагенетически,

а то и вовсе опосредованно (только пространственно) ассоциируются крупнейшие месторождения фосфора, урана, золота, полиметаллов и редких элементов. Стоит только назвать такие волнующие любого геолога месторождения-гиганты, как Фосфория, Брокен-Хилл, Карлин, Маунт-Айза, Витватерсранд, Мак-Артур Ривер, Мансфельд и др., чтобы преисполниться почтения к черным сланцам. Наиболее важными для геологов являются месторождения, связанные с черными сланцами генетически⁷.

Эта проблема настолько значительна, что Международный союз геологических наук (действующий под эгидой ЮНЕСКО) в 1985—1991 гг. осуществил Международный проект-254 «Металлоносные черные сланцы». Наши геологи внесли в него ощутимый вклад. В частности, вице-президентом проекта стал крупный российский геолог, специалист в области золоторудных месторождений, профессор В. А. Буряк из Хабаровска.

Для геолога-нефтяника черносланцевые толщи — это вождельенные «нефтематеринские свиты» — понятие, без которого нельзя представить себе нефтяную геологию XX в. В ранний период развития нефтяной геологии связь месторождений нефти с богатыми «сапропелевым» органическим веществом черносланцевыми толщами казалась очевидной. Но по мере того, как нефтяники погружались в дебри происхождения нефти, огромная сложность этой проблемы заставила их на длительное время (50—70-е годы) отказаться от ранних «наивных» представлений. Однако в 80-е годы специалисты по нефтяной геохимии снова провозгласили черносланцевые толщи главнейшими нефтепроизводящими толщами. Более того, они пришли к выводу, что других «нефтематеринских свит», по-видимому, просто не существует⁸.

Для химика и технолога интересы не столько металлоносные черные сланцы-доманикиты, сколько другая их разновидность, традиционно называемая горючими сланцами. Как известно, горючие сланцы при пиролизе дают смолу — «сланцевую нефть». По этой причине их издавна именуют «oil shale» — «нефтяные сланцы». Оценки потенциальных ресурсов «сланцевой нефти», касающиеся лишь самых из-

⁷ Ермолаев Н. П., Созинов Н. А. Стратиформное рудообразование в черных сланцах. М., 1986.

⁸ Неручев С. Г., Рогозина Е. А., Зеличенко И. А. и др. Нефтегазообразование в отложениях доманикового типа. Л., 1986; Лебедев Б. А. Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. Л., 1992.

⁵ Неручев С. Г. Уран и жизнь в истории Земли. Л., 1982.

⁶ Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., 1987.

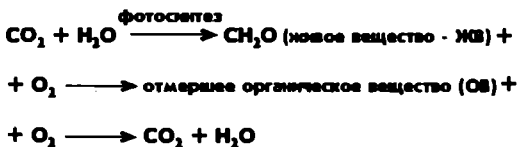
вестных месторождений горючих сланцев мира, дают цифру $5 \cdot 10^{14}$ л, что сопоставимо с извлекаемыми запасами нефти в залежах. Если же учитывать не только крупные месторождения горючих сланцев (например, такие, как гигант Грин-Ривер в США), а все черные сланцы стратисферы, то величина потенциальных ресурсов «сланцевой нефти» должна быть увеличена на несколько порядков⁹.

Итак, в черных сланцах тесно переплетаются интересы специалистов разного профиля. «Взяв за основу» наиболее близкую нам геохимию черных сланцев, можно с помощью кругов Эйлера показать связь этого направления с соседними.

КАК ОНИ ОБРАЗУЮТСЯ? ТРИ ФАКТОРА

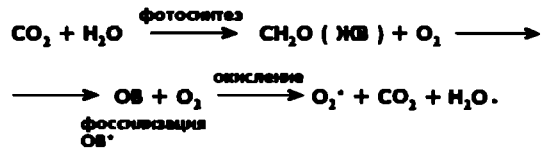
Тот факт, что в осадочных горных породах содержится некоторое количество фоссилизированного биогенного органического вещества (ОВ), известен геологам более 100 лет. Напомним, что главным, а часто и единственным компонентом этого ОВ является углерод (химико-аналитическая величина $C_{орг}$ %).

Однако понадобился гений Вернадского¹⁰, чтобы за обыденным фактом присутствия $C_{орг}$ в стратисфере увидеть глобальное явление огромной важности, а именно — меру содержания кислорода в атмосфере! Дело в том, что при идеально замкнутом биосферном цикле углерода весь выделяемый при фотосинтезе кислород расходуется на окисление отмершего органического вещества и никакого накопления кислорода в атмосфере не происходит:



Чтобы в атмосфере мог накопиться кислород, биосферный цикл углерода должен быть не идеальным, а отчасти разомк-

нутым, т. е. должен давать некоторую «течь»:



Здесь $ОВ^*$ — та часть ОВ, которая избежала окисления, будучи захороненной в осадочных породах (фоссилизированной). В химическом смысле она эквивалентна количеству избыточного кислорода O_2^* , оставшемуся в атмосфере. Если бы процесс фоссилизации ОВ протекал без всяких ограничений, то содержание кислорода O_2^* в атмосфере теоретически могло бы достичь огромной величины — намного большей, чем нынешние 21 % по объему. И хотя утечка $C_{орг}$ из биосферного цикла кажется мизерной (всего 0,05 %), этого достаточно, чтобы за 15 млн. лет количество кислорода в атмосфере удвоилось. Однако этому препятствует литосферный цикл углерода, в котором окислению подвергается выведенное в биосферу фоссилизированное ОВ древних осадочных и осадочно-метаморфических пород. Поскольку фоссилизированного ОВ примерно в 25 тыс. раз больше, чем ОВ современной биосферы, на их окисление расходуется значительная доля новообразованного кислорода. В итоге длительного общего цикла углерода определяется его «медленной» частью — литосферным циклом. Именно этим и обеспечивается примерное постоянство среднего содержания O_2 в атмосфере на протяжении последних 500 млн. лет¹¹.

Для наглядности быстрый биосферный и медленный литосферный циклы углерода можно сравнить с секундной и часовой стрелками в часовом механизме: пока часовая стрелка совершит один оборот, секундная успеет прокрутиться 720 раз. Подобно тому, как маленькое колесико секундной стрелки вращает большое колесо часовой — так и без некоторой утечки углерода из быстрого биосферного цикла не сможет функционировать литосферный цикл. Ведь если не будет подвергаться фоссилизации некоторое количество $ОВ^*$ современных осадков, то не будет ОВ и в осадочных породах. Тогда литосферный цикл $C_{орг}$

⁹ Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основные закономерности геохимии черных сланцев. Сыктывкар, 1991.

¹⁰ Вернадский В. И. Цит. соч.

¹¹ Будыко М. И., Ронов А. Б., Яншин А. Л. История атмосферы. Л., 1985.

«седиментация → литогенез → метаморфизм → выветривание → седиментация» не будет сопровождаться расходом кислорода на окисление ОВ.

Хотя все изложенное хорошо известно, без этих сведений вряд ли удастся истолковать феномен образования черных сланцев. Напомним, что суть феномена заключается в накоплении вышекларковых содержаний $C_{орг}$. В «черносланцевые» эпохи биосферный цикл углерода был по каким-то причинам более разомкнутым, нежели в эпохи накопления «нормальных» осадков, — это очевидно. Но что могло явиться фактором повышенной «утечки» углерода из биосферного цикла?

Таких факторов было по меньшей мере три.

1. Фактор биопродуктивности морских экосистем — P (Production).

При прочих равных условиях рост биопродуктивности приведет к увеличенному поступлению органогенного детрита в осадок, и как следствие — к увеличению фоссилизации этого ОВ.

2. Фактор скорости седиментации — S (Sedimentation).

Если скорость поступления ОВ в осадок постоянна, то всякое увеличение скорости поступления минерального вещества должно уменьшать содержание ОВ в осадке. И наоборот, резкое замедление темпа минеральной седиментации должно привести к накоплению ОВ в осадке, что в итоге даст повышенное содержание ОВ.

3. Фактор степени фоссилизации — F (Fossilization).

Ясно, что факторы P и S не «сработают», если ОВ в осадке полностью окислится, т. е. не будет хотя бы частично сохранено — фоссилизовано. Кроме того, очевидно, что фактор F , в отличие от первых двух, нельзя рассматривать как вполне независимый: у него есть части, зависимые от P и S (F_p и F_s). Но есть и относительно независимая часть фактора F , определяемая только физико-химической обстановкой в бассейне: содержанием кислорода в наддонных и поровых водах, присутствием в них H_2S , солевым составом вод, общей солёностью и температурой. Эту независимую часть фактора F можно обозначить F_c (consumption — потребление, расход). Таким образом, фактор степени фоссилизации F обнаруживает сложную структуру: $F = (F_p + F_s) + F_c$.

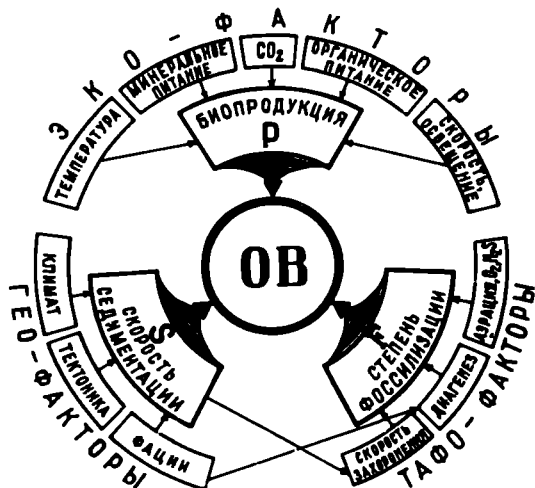
Современные эвксинные бассейны (т. е. бассейны с постоянной или временной стагнацией придонных вод) дают возмож-



Быстрый биосферный (~1,5 млн. лет) и медленный литосферный (~400 млн. лет) циклы органического углерода, которые можно уподобить секунднему и часовому колесикам в часовом механизме: пока совершается один литосферный цикл, в биосфере $C_{орг}$ успевает «обернуться» примерно 270 раз. Однако без некоторой утечки углерода из биосферного цикла (составляющей всего 0,03 % массы биосферного $C_{орг}$) нарушится и литосферный цикл. Именно эта утечка играет роль зубчатого зацепления в часовом механизме.

ность оценить результат действия фактора F_c . Наиболее известные объекты, в которых углеродистые осадки образуются под бескислородными или даже сероводородными водами, — это залив Саанич в Британской Колумбии (Канада), Черное море, норвежские фьорды и депрессии Балтийского моря. В перечисленных бассейнах, в условиях более или менее нормальных биопродуктивности и скорости седиментации, формируются углеродистые илы, содержащие 2—4 % $C_{орг}$. Это позволяет связывать накопление $C_{орг}$ почти исключительно с фактором F_c .

Факторы P , S и F рассмотрены по отдельности только для того, чтобы легче было оценить действие каждого из них. На самом же деле эти факторы действуют совместно, причем за их «спиной» стоят факторы климата, тектоники и др. Совокупность этих более общих факторов можно вслед



Факторная схема формирования углеродистых осадков — будущих черных сланцев. Накопление ОВ в осадке непосредственно определяется тремя факторами: биопродуктивностью [Р], скоростью минеральной седиментации [S] и степенью фоссилизации ОВ [F]. Однако за ними стоят более общие факторы, которые вслед за А. В. Лапо можно именовать экологическими, геологическими и тафономическими.

за А. В. Лапо¹² именовать био-, эко- и тафогенными. Построим факторную схему накопления ОВ в осадках в виде простейшей формулы без численных коэффициентов:

$$ОВ, \% = \frac{P \cdot F}{S}$$

Согласно этой формуле, накопление ОВ в осадках прямо пропорционально биопродуктивности и степени фоссилизации ОВ и обратно пропорционально скорости минеральной седиментации.

Однако оказалось, что природа устроена более хитро. Изучение современных бассейнов седиментации показало, что фактор S имеет, подобно фактору F, сложную структуру. С одной стороны, в нем вычлняется отмеченная выше закономерность (которую мы называем закономерностью Страхова¹³) — убывание величины $C_{орг}$ по

мере нарастания скорости седиментации. С другой стороны, обнаружилось, что в области сравнительно небольших содержаний $C_{орг}$ в современном седиментогенезе действует противоположная закономерность (мы называем ее закономерностью Назаркина¹⁴) — нарастание содержания $C_{орг}$ по мере увеличения скорости седиментации. Этот феномен объясняют двояко. Одни связывают его с благотворным влиянием на величину биопродукции увеличения твердого стока, т. е. со своего рода природным удобрением водных экосистем (S_p). Другие акцентируют внимание на меньшей длительности диагенеза осадка при ускоренной седиментации, что способствует быстрой консервации ОВ, т. е. по существу это фактор F_s (или, если угодно, F_c). Однако действие закономерности Назаркина ограничено некоторым верхним пределом скорости седиментации, составляющим, по-видимому, 5—10 см за 1000 лет, после чего эффект разбавления станет сильнее, чем эффект консервации.

Теперь мы можем уточнить факторную схему, представив ее в виде

$$ОВ, \% = \frac{F \cdot P \cdot S_H}{S_C}$$

где S_H — закономерность Назаркина, а S_C — закономерность Страхова.

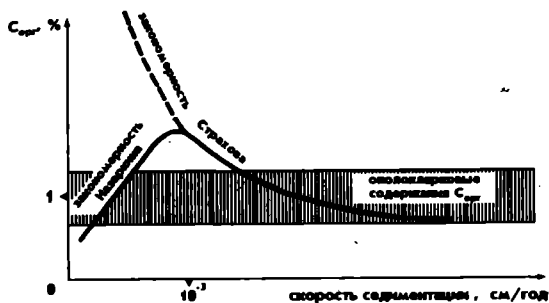
Рассмотрим график, отражающий зависимость содержания $C_{орг}$ в осадках от скорости седиментации. В современных осадках левая ветвь кривой Страхова как бы редуцирована: и действительно, мы нигде не видим накопления $C_{орг}$ в условиях очень низких скоростей седиментации. Однако это явление было широко развито в эпикратонных бассейнах палеозоя, когда формировались доманикиты — депрессионные углеродистые осадки впадин на шельфе, не консервированных осадконакоплением. По оценкам А. Э. Конторовича, Б. А. Лебедева и других геологов, скорость седиментации при формировании доманикитов не превышала 0,2—0,5 см за 1000 лет, что было возможным лишь при крайне слабом терригенном сносе, в условиях громадных трансгрессий моря на подвосточные континенты.

Теперь, вооруженные пониманием природы факторов P, F и S, мы можем более обоснованно реконструировать обстановку

¹² Лапо А. В. Следы былых биосфер. М., 1987.

¹³ По-видимому, впервые закономерность Страхова была в ясной форме описана в работе: Страхов Н. М., Осипов С. С. Битуминозные породы р. Юрезани // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1935. № 1. С. 3—41. В дальнейшем она стала одной из центральных идей в творчестве академика Страхова.

¹⁴ Назаркин Л. А. Влияние темпа седиментации и эрозионных срезов на нефтегазоносность осадочных бассейнов. Саратов, 1979.



Идеализированная зависимость содержания $C_{орг}$ в осадках от скорости седиментации. При малых скоростях в современных бассейнах седиментации закономерность Страхова не проявляется (пунктир). Дело в том, что современные бассейны с низкими скоростями седиментации — это не эпиратонные моря (как в палеозое, например), а хорошо аэрированные океаны, где органический детрит почти полностью окисляется в слое воды, не достигая дна.

образования того или иного вида черных сланцев (табл. 1).

Из этой таблицы, в частности, следует, что условия формирования металлоносных черных сланцев-доманикитов (низкая скорость седиментации) и неметаллоносных горючих сланцев (очень высокая скорость седиментации) различны. Хотя сам факт такого различия был, в общем-то, ясен многим геологам и ранее, фундаментальное обоснование его на огромном региональном материале сделано совсем недавно петербургскими литологами Б. А. Лебедевым и Г. В. Лебедевой¹⁵.

Таблица 1

Факторы, способствующие образованию разных видов черных сланцев

Черные сланцы	Доминирующие факторы
Древние (дофанерозойские) черные сланцы, сформировавшиеся в условиях низкого содержания кислорода в атмосфере и гидросфере Фанерозойские черные сланцы — доманикиты	F_c
Горючие сланцы	$S_c + F_c + P$ $P + S_{н}, F_{s, p}$

Что же касается самой металлоносности, то ее причины более или менее понятны. Из-за низкой скорости седиментации, ОБ доманикитов могло очень долго взаимодействовать с морской водой, извлекая оттуда Mo , U , Ni и другие растворенные металлы путем хемосорбции. А при формировании горючих сланцев седиментация происходила так быстро, что время сорбции было на несколько порядков ниже. Кроме того, очень важно, что горючие сланцы обычно формировались в пресноводных или солоноватоводных бассейнах, но не в морских. В таких водах содержание многих элементов-примесей гораздо ниже, чем в морской воде. Например, в растворе речной воды¹⁶ содержится всего около 1 мкг/л молибдена (и еще 3 мкг/л — во взвеси), а в растворе морской воды молибдена на целый порядок больше — около 13 мкг/л.

ЧЕРНЫЕ СЛАНЦЫ И РУДОГЕНЕЗ. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

Едва ли мы знали бы о черных сланцах так много, как сегодня, если бы не ассоциация многих рудных месторождений с черносланцевыми толщами. В частности, научные исследования по геохимии черных сланцев самым очевидным образом обеспечиваются «грубым» интересом промышленности к рудным месторождениям. И если какой-нибудь геохимик пожелает добыть средства для сугубо академической темы, не имеющей ну никакого прикладного значения, ему просто нужно в своей заявке употребить волшебные словосочетания: «черносланцевые формации» и «стратиформное¹⁷ рудообразование». Воздействие этих слов на любого бюрократа от геологии почти гарантировано — деньги дадут! Настолько сильно в геологическом сознании представление о «связи» рудных месторождений с черными сланцами.

Мы не помышляли о такой дерзости, чтобы усомниться в справедливости этой догмы. Наша задача была скромнее: уяснить, что конкретно означает эта «связь», с помощью каких механизмов она реализуется? Так появилась на свет концепция

¹⁶ Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимия и рудогенез молибдена, вольфрама и рения в черных сланцах. Сыктывкар, 1991.

¹⁷ Стратиформными называются месторождения, рудные тела которых имеют пластообразную форму и залегают субпараллельно пластам вмещающих их осадочных толщ. Многие стратиформные месторождения залегают непосредственно в черных сланцах или на небольшом удалении от них.

¹⁵ Лебедева Г. В., Лебедев Б. А. Закономерности распространения разнотипных доманикитов и горючих сланцев в осадочных бассейнах Земли // Тр. Междунар. симп. СПб., 1992.

различных геохимических функций черных сланцев в рудообразовании. Имевшая сперва сугубо служебную, аналитическую цель (такое сложное явление, как рудогенез, проще изучать, расчленив его на более простые), концепция геохимических функций оказалась очень актуальной. Ее тотчас взяли на вооружение многие геологи, занятые непосредственными поисками рудных месторождений. При этом наша идеология, видимо, настолько пришлась им по душе, что на нас уже и не ссылаются... В такой ситуации даже не знаясь, обижаться или, наоборот, радоваться.

Прежде чем охарактеризовать геохимические функции черных сланцев, необходимы три важных замечания.

Первое. Сама идея геохимических функций полностью взята нами у Вернадского. Это он в 1931 г. впервые выделил девять «биогеохимических функций биосферы», а в своем итоговом труде «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения» сгруппировал эти функции следующим образом: газовые, концентрационные, окислительно-восстановительные, биохимические и, наконец, биогеохимические функции человека разумного — *Ното sapiens*.

Уже в наши дни талантливый интерпретатор Вернадского петербургский геолог А. В. Лапо¹⁸ перегруппировал и отчасти переименовал некоторые функции. Согласно терминологии Лапо, живое вещество биосферы выполняет пять функций: энергетическую, концентрационную, деструктивную, средообразующую и транспортную. Три из этих функций (концентрационная, средообразующая и транспортная) имеют прямое отношение к нашей теме. Они характеризуют, конечно, не только живое вещество, но и мертвое органическое вещество (ОВ).

Второе. Проблема рудообразования естественным образом распадается на три части: источник рудного вещества, механизм его переноса от источника к месту отложения руды и собственно механизм рудоотложения, т. е. формирования рудного тела. Следовательно, геохимические функции черных сланцев в рудообразовании должны быть непременно увязаны с этими тремя элементами рудного процесса.

Третье. Черные сланцы, как и любые осадочные породы, прошли в своей геологической истории по меньшей мере два различных этапа: сингенез, включающий образование углеродистого осадка и его

литификацию, и эпигенез, включающий все последующие изменения черного сланца, сопровождающиеся привносом-выносом вещества.

Существенное различие сингенетических и эпигенетических процессов вынуждает нас рассматривать геохимические функции черных сланцев раздельно, сообразуясь с этими этапами (табл. 2).

Несмотря на кажущуюся «симметрию» этой таблицы, для геолога-рудника рудогенезы сингенетический и эпигенетический далеко не равнозначны. Дело в том, что сингенетическая металлоносность черных сланцев редко достигает промышленного уровня. И хотя с развитием технологии этот уровень понижается, промышленных разработок геохимически аномальных черных сланцев пока немного. Прежде всего это знаменитые верхнепермские медистые сланцы Германии и Польши (Купфершифер), которые в течение столетий питали медью, цинком, свинцом и серебром промышленность Германии. Можно назвать также «квасцовые» сланцы верхнего кембрия — нижнего ордовика в Швеции и нижнего силура в Тюрингии; из первых добывали уран и радий, из вторых — золото. Тем не менее гомологичные шведские нижнеордовикские «диктионемовые» сланцы Эстонии, несущие в среднем 220 г/т урана, никому не нужны, и в настоящее время идут в отвал при вскрыше месторождений фосфоритов. К тому же в последнее время стали оспаривать сингенетичность накопления металлов и в Купфершифере, ранее считавшуюся абсолютно достоверной. Появилась идея, что сланцы обогатились металлами в эпигенезе, под воздействием рассолов, просочившихся из соленосной толщи цехштейна в лежащие ниже красноцветы.

Меньше сомнений вызывает сингенетичное накопление металлов в древних (докембрийских) черных сланцах, хотя и здесь достоверные примеры единичны. Так, по данным финского геолога К. Рускиниemi, работавшего по программе Международного проекта-254, в Финляндии в 1988 г. был выявлен всего один промышленный рудный объект, который можно квалифицировать как сингенетичный. Это сульфидизированные черные сланцы Талви-вааре с запасами горной массы 300 млн. т. Они содержат в среднем 8 % графита, 0,26 % никеля, 0,15 % меди, 0,54 % цинка, 0,34 % марганца.

Больше повезло с сингенетичными рудами китайским геологам, которые обнаружили замечательные вулканогенно-оса-

¹⁸ Лапо А. В. Цит. соч.

Таблица 2

Геохимические функции черных сланцев (или их компонентов) в сингенетических и эпигенетических процессах

Сингенетические процессы (седиментогенез и диагенез)	Эпигенетические процессы (катагенез, метагенез, гипергенез)
<p>Концентрационная функция живого вещества (ЖВ): гидробионты концентрируют в процессе жизнедеятельности в своих клетках вещества из окружающей среды</p> <p>Средообразующая функция органического вещества (ОВ): в диагенезе ОВ выделяет CO_2, H_2S, CH_4, H_2 и другие вещества, резко изменяющие физико-химические параметры среды. Это ведет либо к фиксации рудных компонентов на геохимических барьерах (барьерный эффект), либо, наоборот, к их мобилизации (транспортный эффект)</p> <p>Барьерная функция ОВ и сингенетичных сульфидов: ОВ и сингенетичные сульфиды в диагенезе захватывают и концентрируют рудные компоненты посредством сорбции, хемосорбции и восстановления</p> <p>Транспортная функция ЖВ и ОВ: живое вещество и растворенное ОВ переводят рудные компоненты в миграционно-способные формы</p>	<p>Ресурсная функция черных сланцев: черные сланцы служат источником рудного вещества, отдавая его в гидротермально-метаморфогенные и гипергенные растворы</p> <p>Средообразующая функция черных сланцев: в основном такая же, как и в сингенетических процессах</p> <p>Барьерная функция черных сланцев: в основном такая же, как в сингенетических процессах, но повышается роль сорбции и восстановления и убывает роль хемосорбции</p> <p>Транспортная функция ОВ черных сланцев: в основном такая же, как в сингенетических процессах, но в числе миграционных ОВ появляются нафтоиды</p>

дочные месторождения в венд-кембрийских сланцах Южного Китая. Здесь в так называемых «полиэлементных» слоях черных сланцев обнаружены фантастически высокие средние содержания никеля (3,15%), мощные концентрации молибдена (до 2—7%), и, что особенно интересно, высокие концентрации платиноидов и золота. В частности, средние содержания осмия, платины, палладия и золота составляют 100, 200, 250 и 700 мг/т. По свидетельству американского геолога профессора Р. Ковеня-младшего и китайского геолога Н. Чена, месторождение Соньмин, открытое в 1970-х годах в провинции Гуйчжоу, представляет собой уникальный объект — единственный в мире, где черные сланцы разрабатываются как руда на молибден. Ежегодно этот рудник дает 1000 т молибденовой руды. Геологическими и геохимическими гомологами южнокитайских месторождений являются ванадиеносные черные сланцы Тянь-Шаня, находящиеся на территории Казахстана и Киргизии¹⁹.

И все же большинство известных сингенетично-металлоносных черных сланцев остаются пока что «рудами будущего»:

они представляют собой объекты не промышленные, а геохимически аномальные. Однако именно с их геохимической аномальностью геологи чаще всего связывают образование эпигенетических рудных месторождений. Это вынуждает нас несколько более подробно прокомментировать табл. 2.

Ресурсная функция — несомненно важнейшая из всех функций черных сланцев в эпигенетическом рудообразовании. Черные сланцы выступают как источник рудного вещества, которое мобилизуется и переоткладывается либо в них самих, либо в соседних породах. Можно назвать ряд признаков того, что черные сланцы реализовали ресурсную функцию. Одна из косвенных «улик» — резко увеличенная дисперсия содержаний рудного компонента, вызванная его мобилизацией и локальным переотложением. Этот процесс проявляется в снижении регионального геохимического фона «отработанных» (по меткому выражению В. А. Буряка) черных сланцев — с одновременным появлением резких геохимических аномалий. Такие явления отмечались Н. П. Ермолаевым как при контактовом, так и при региональном метаморфизме черных сланцев. Другая бесспорная улика ресурсной функции — образование необычных аутогенных минералов, компоненты которых (U, Se, Cd, Cr, Pb, Cu,

¹⁹ Анкинович С. Г. Нижний палеозой ванадиеносного бассейна Северного Тянь-Шаня и западной окраины Центрального Казахстана. Алма-ата, 1961.

Ва, Р) извлечены из вмещающихся черных сланцев.

Мобилизация рудных компонентов нередко сопровождается отторжением миграционных фаз ОВ — нефтеподобных битумоидов. Последние имеют характерные изотопные метки (сильно облегченный углерод, обогащенный изотопом ^{12}C) и содержат металлы. Эти признаки и являются диагностическими для ресурсной функции.

Важным критерием реальности ресурсной функции служит балансовый расчет, т. е. сопоставление массы рудного вещества в рудах и во вмещающих черных сланцах. Подобных расчетов пока сделано не много. Но там, где данных для расчетов хватало, удалось доказать достаточность ресурсной функции в одних случаях, или же ее недостаточность — в других. Характерными признаками являются сами «отработанные» — сильно выщелоченные пористые — породы, иногда обеленные за счет полного «выгорания» органического вещества. Думается, что в недалеком будущем именно балансовый расчет придет на смену бесплодным дискуссиям, которые длятся иногда десятки лет.

Наконец, натуральные наблюдения и экспериментальное моделирование показывают полную реальность выщелачивания значительных масс металлов из черных сланцев при промывании их разными по составу и происхождению водами: пресными и морскими, горячими рассолами и холодными гидрокарбонатными водами, а также водно-углекислыми флюидами, играющими особую роль при образовании гидротермальных месторождений²⁰.

Барьерная функция черных сланцев означает, что они могут проявлять себя в качестве сорбционного или восстановительного геохимического барьера. (Напомним, что концепция геохимических барьеров создана известным российским геохимиком А. И. Перельманом²¹.)

Как давно установлено, на низких ступенях катагенеза терригенные ОВ углей способны к хемосорбции. Поэтому, в частности, бурые угли могут эффективно поглощать Ge и Be из растворов, а каменные угли, способные только к физической сорбции, сильно уступают им в этом отношении. Хотя, как уже отмечалось, ОВ черных сланцев существенно аквагенное (а не терригенное) — для него в общем характерны

аналогичные закономерности. Однако здесь существует замечательный «шунгитовый феномен». Дело в том, что при особых условиях (невысокие давления и низкие скорости карбонизации) аквагенное ОВ на стадии антрацита образует метастабильную шунгитовую фазу — так называемый «аморфный углерод». Как доказали карельские ученые (коллектив Ю. К. Калинина), надмолекулярная структура шунгитов представляет собой слабо упорядоченную сетку отдельных глобул углерода, атомы которого имеют много ненасыщенных связей. Это и определяет высокую химическую активность шунгитовой фазы, в частности ее способность поглощать из раствора золото и другие металлы. На эту важную для рудообразования особенность шунгитового вещества одним из первых обратил внимание сибирский геолог В. Г. Петров, занимавшийся изучением золотоносности черносланцевых толщ Енисейского края²². Если же шунгит в конце концов превращается в графит (а так чаще всего и происходит), то графит вследствие своей высокой электропроводности может выступать как электрод, на котором металлы восстанавливаются из растворов.

Может быть, не менее важна барьерная функция сингенетичных сульфидов, среди которых преобладает обыкновенный пирит FeS_2 . На этих сульфидах, как на затравках, способны отлагаться поздние сульфидные руды, которые сами по себе могут быть совершенно чужды черным сланцам. Но что особенно интересно, ранние сульфиды способны эффективно извлекать золото из гидротермальных растворов! Понимание полной реальности этого процесса очень важно, ибо легко принять такие (обогащенные золотом только в эпигенезе!) пириты за сингенетические, и по этой причине неверно оценить соотношение ресурсной и барьерной функций черных сланцев.

Транспортная функция ОВ черных сланцев в процессе гидротермального или гипергенного рудообразования реализуется через миграционные фазы ОВ, которые выступают как переносчики металлов. Что касается низкотемпературного гипергенного рудообразования, то реальность таких процессов (с участием гумусовых и нефтенных кислот) не вызывает сомнений, и, например, для урана была показана в рабо-

²⁰ Наумов Г. Б. Основы физико-химической модели уранового рудообразования. М., 1978.

²¹ Перельман А. И. Геохимия. М., 1989.

²² Петров В. Г. Золото в опорных разрезах верхнего докембрия западной окраины Сибирской платформы. Новосибирск, 1976.

тах А. И. Германова и В. М. Пантелеева²³. Феноменальное явление в Арктике, на Югорском п-ве (хр. Пай-Хой), было описано Н. П. Юшкиным²⁴. Здесь при сернокислотном выветривании фосфатносных сульфидсодержащих черных сланцев карбона образуются удивительные черные железоломо-сульфато-фосфатные золи и гели, содержащие до 2,5 % $S_{орг}$, до 1,15 % V_2O_5 , а также ощутимые примеси Zn и Mo . Содержание P_2O_5 в этих золях и гелях доходит до 26%! Можно считать, что процесс выщелачивания и переноса рудных компонентов черных сланцев происходит здесь буквально на глазах человека.

Значительно труднее судить о реальности транспортной функции применительно к высокотемпературным гидротермальным процессам. Вероятными переносчиками металлов можно считать кислые битуминозные вещества гидрофобной природы — нафтоиды. Их участие в переносе урана, золота, ванадия, никеля, молибдена, кобальта и щелочей доказано, или почти доказано. Однако пока не решена давняя и очень острая проблема переноса Pb^{2+} и Zn^{2+} в комплексах с карбоновыми кислотами — это центральный пункт многолетней дискуссии о генезисе стратиформных месторождений «типа долины Миссисипи»²⁵. Хотя теоретически транспортная функция карбоновых кислот (дериватов нефти) вполне вероятна, однако в реальных горячих фассалах нефтеносных пластов — именно с такими водами связывают формирование месторождений полиметаллов миссисипского типа — лиганды этих кислот, по-видимому, проигрывают конкуренцию за металл анионам хлора и серы²⁶.

Разумеется, реальный рудогенез, так красиво разложенный по полочкам геохимических функций, — явление неизмеримо более сложное. Достаточно заметить, что при формировании одного и того же рудного месторождения могли, частью последовательно, а частью и одновременно, реализоваться все функции черных сланцев! Тем не менее концепция геохимических функ-

ций остается полезным инструментом геолого-исторического анализа рудного процесса. Более того, она становится практически важной, если какая-то одна функция явно доминирует над прочими. Например, для большинства месторождений золота в черных сланцах барьерная функция, по-видимому, гораздо важнее, чем ресурсная.

Наконец, мы не получим правильной картины рудогенеза, если забудем еще об одной функции черных сланцев (не геохимической). Ее можно назвать рудолокализирующей, или физико-механической. Дело в том, что хрупкие черные сланцы (такие, как кремнистые) в силу своей трещиноватости служат проводниками рудоносных флюидов и вместилищами рудной минерализации, ловушками руды. Напротив, пластичные черные сланцы (такие, как глинистые) служат эффективными экранами для рудоносных флюидов. Сочетание ловушки (резервуара) с экраном (покрышкой) и обеспечивает локализацию рудной минерализации. Данная функция черных сланцев в рудообразовании явно недооценивается, что приводит к чрезмерному акцентированию геохимических функций даже в тех случаях, когда для этого нет оснований.

В заключение остается добавить, что в рамках этой статьи удалось осветить только некоторые аспекты геологии, геохимии и рудогенеза черных сланцев. За пределами нашего рассмотрения в числе прочего остался чрезвычайно важный вопрос о черных сланцах как страницах каменной летописи биосферы Земли. Постановка этой проблемы, имеющей общенаучное значение, связана с именем академика А. В. Сидоренко, а наибольший вклад в нее внес, по-видимому, петербургский ученый С. Г. Неручев. Однако проблема эта столь сложна, что требует специального рассмотрения. Здесь же заметим, что завершение в 1991 г. Международного проекта-254 «Металлоносные черные сланцы» вовсе не означает прекращения работ по данной теме. Наоборот, «мозговой штурм», организованный в рамках проекта-254, послужил мощным толчком к разворачиванию дальнейших исследований черных сланцев.

²³ Германов А. И., Пантелеев В. М., Швец В. М. Генетические связи органического вещества и микрокомпонентов подземных вод. М., 1975.

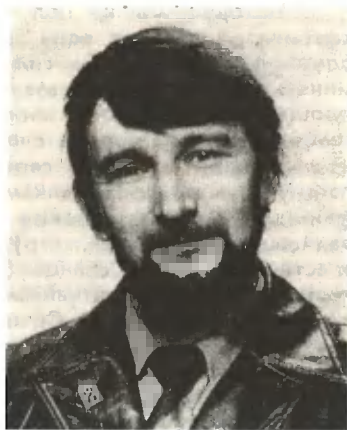
²⁴ Юшкин Н. П., Назарова Г. С. Конституция и фазовые трансформации природных коллоидов алюмо-железо-сульфатно-фосфатного состава. Сыктывкар, 1982.

²⁵ Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М., 1982.

²⁶ Лебедев Л. М., Никитина И. Б. Челекенская рудообразующая система. М., 1983.

Меря

Е. А. Рябинин



Евгений Александрович Рябинин, доктор исторических наук, старший научный сотрудник Института истории материальной культуры РАН. Основные темы исследований: Северная Русь и ее соседи; финно-угорские и славянские племена эпохи средневековья; языческие культуры народов Восточной Европы; процесс урбанизации в Балтийском регионе. Свыше 20 лет ведет археологические работы по изучению средневековых памятников на территории Ленинградской, Костромской и Ивановской областей.

КИСЧЕЗНУВШИМ «иним языцам», заселявшим Ярославско-Костромское Поволжье и междуречье Волги и Клязьмы, относится средневековая меря. Первое упоминание этого этнонима содержится в труде готского историка Иордана (VI в.), где в перечне северных племен, якобы покоренных в IV в. вождем приазовских готов Германирихом, но в действительности содержащего список народов на водном пути из Балтики к Каспийскому и Черному морям, в едином

контексте названы Merens (меря) и Mordens (мордва)¹.

В этнографическом введении «Повести временных лет» меря упомянута среди иноязычных племен, плативших дань Руси. Летопись указывает на географическое размещение этого образования («На Белоозере седять весь, а на Ростовском озере меря, а на Клещине озере меря же») и относит его к «первыим насельницам» города Ростова².

Письменные источники свидетельствуют об активном участии мери в начальных событиях русской истории³. Под 859 г. она названа в числе северных славянских (словене новгородские, кривичи) и финских (чудь, весь) племен, плативших дань варягам «из заморья». Совместно с союзниками меря изгоняет «находников», а в 60-х годах IX в. Ростов в мерянской земле переходит под власть одного из «мужей» Рюрика. Под 882 г. приводится известие об установлении князем Олегом Вещим дани «словеном, кривичем и мери». Отмечается участие мерянских воинских контингентов в походах Олега на Смоленск, Любеч и Киев (882 г.) и Константинополь (907 г.). Вслед за последней боевой акцией Ростов в числе других городов молодого Древнерусского государства получает часть византийской дани.

После 907 г. данный этноним в летописях более не встречается. Однако это объясняется прежде всего переносом активной политики киевских князей на юг, после чего бывшие названия финских федератов начинают сменяться суммарным их наименованием «чудь». В пользу такого предположения имеются интересные историко-археологические свидетельства. Под 988 г. — в год крещения Руси — «Повесть временных лет» сообщает, что князь Владимир с целью укрепления государственных границ от набегов степных кочевников — печенегов начал строить крепости по Десне, Остеру, Трубежу, Суле, заселяя их «лучшими мужами» с севера, в том числе и из чуди⁴. При исследо-

© Рябинин Е. А. Меря. Продолжение. Начало серии очерков этого автора о финно-угорских племенах, обитавших в пределах средневековой Руси, см.: Водь // Природа. 1992. № 3. С. 78—86; Ягора // Природа. 1992. № 9. С. 82—89; Весь // Природа. 1993. № 1. С. 86—93; Чудь заволоцкая // Природа, 1993. № 8. С. 22—29.

¹ Об этом также см.: Рябинин Е. А. Весь // Природа. 1993. № 1. С. 88.

² Повесть временных лет. Ч. 1. М.—Л., 1950. С. 10, 13, 18.

³ Там же. С. 18, 20, 23.

⁴ Там же. С. 83.

вании некоторых таких укреплений в культурных отложениях конца X — начала XI в. были действительно обнаружены находки, связанные по происхождению с финским Севером. Выясняется, что ряд женских украшений относится к типичным элементам мерянского металлического убора — явное подтверждение того, что здесь оседали воины из племени меря, переселявшиеся на южные рубежи со своими семьями.

Позднейшие сведения о мери имеются в агрографических сочинениях (жития святых), повествующих о миссионерской деятельности первых ростовских епископов Федора, Леонтия, Авраамия и Исая, а также в «Повести о водворении христианства в Ростове»⁵. Они говорят о том, что в Ростове имелся особый Чудской конец, где стоял каменный идол. Здешние обитатели стойко придерживались язычества до начала XII в. В конце X в. они неоднократно изгоняли из города епископа Федора, а в 70-е годы XI в. от рук «заблудящей чуди» принял мученическую смерть Леонтий. В контексте с упоминанием о том, что Леонтий «русский же и мерьский язык добре умяще», становится понятной и племенная принадлежность местных язычников. Память о былом проживании этого населения на северо-востоке Руси сохранилась в наименованиях позднесредневековых станов и волостей, содержащих этнонимическую основу «мер(-я)» и «чудь».

Летописная привязка мери к бассейнам крупных озер Неро и Плещеево, где в древнерусское время переживают свой расцвет города Ростов Великий и Переславль-Залесский, дает представление лишь о части территории ее расселения. В разработках видного археолога Е. И. Горюновой, посвятившей мерянской проблеме специальное монографическое исследование, выдвинуто и обосновано положение о мерянском племенном союзе, включавшем два основных подразделения — центральное (или владимирское) и северо-восточное (костромское)⁶. Первое из них, заселявшее Волго-Клязьминское междуречье, соответствует мери русских летописей, к нему же применим и ранний этноним VI в.

Топонимика и субстратное наследие в русском языковом материале древних мерянских областей свидетельствуют о том, что мерянский язык, по-видимому, распа-

давший на ряд диалектов, представлял переходное звено, некогда связывавшее прибалтийско-финские и поволжские — мордовские и марийские — языки (диалекты)⁷. По мнению известного финно-угроведа А. И. Попова, языки мери и соседствовавшей с ней муромы вообще следует выделить в особую группу срединных (среднерусских) финно-угров, так как они не могут быть причислены ни к балтийско-финским, ни даже к волжским в собственном смысле этого слова.

Древности Волго-Клязьминского междуречья и Ярославско-Костромского Поволжья, предшествующие славянскому освоению этих территорий, изучены неравномерно. Тем не менее использование уже накопленного фонда археологических источников позволяет восстановить процесс развития и смены этнических общностей на северо-востоке Руси — основной области формирования великорусского населения и общерусской национальной культуры.

ФИННО-УГОРСКОЕ НАСЕЛЕНИЕ КРАЯ В I ТЫСЯЧЕЛЕТИИ Н. Э.

Археологическое изучение памятников, прямо или опосредованно связанных с мерянской проблемой, продолжается уже около 150 лет. Но и поныне вопрос об источках сложения этого древнего народа остается предметом оживленного научного обсуждения. Пока, к сожалению, не удается проследить преемственную культурную связь населения средневековой эпохи с обитателями региона предшествующего времени. Памятники раннего железного века — укрепленные поселения (городища) и селища — в основном прекращают свое существование к началу I тысячелетия н. э. И лишь с середины — второй половины I тысячелетия н. э. наступает период «археологической уловимости» группировок, сопоставляемых с исторической мерей.

Особое значение в этом отношении имеют памятники бассейна оз. Неро, в последние десятилетия плодотворно исследуемые А. Е. Леонтьевым. Распространение здесь в VI—VII вв., т. е. в эпоху первого письменного упоминания самого этнонима, открытых ныне поселений и возникновение в конце VII в. укрепленного центра округи — племенного Сарского городища — указывают на консолидацию ранее разобщенных родовых групп в новую этносоциаль-

⁵ Об этом см.: Третьяков П. Н. У истоков древнерусской народности. Л., 1970. С. 139—140.

⁶ Горюнова Е. И. Этническая история Волго-Окского междуречья // Материалы и исследования по археологии СССР. № 94. М., 1961.

⁷ Попов А. И. Топонимика древних мерянских и муромских областей // Географическая среда и географические названия. Л., 1974. С. 23—24; Ткаченко О. Б. Мерянский язык. Киев, 1985. С. 183—193.



Памятники мери второй половины I тысячелетия н. э.; а — городища; б — селища; в — грунтовые могильники [1 — Сарское городище; 2 — городище Унорож; 3 — комплекс памятников у дер. Попово].

ную общность. Это подразумевает сложение строго упорядоченной структуры с присущей ей определенной территорией, массивом поселений, характером верований, в конечном итоге — этническим самосознанием. По размерам демографически освоенных участков (примерно 20×20 км), тяготеющих к побережью озера, это образование сопоставимо с предполагаемыми областями славянских «малых племен» и документирует тем самым сложение одного из локальных подразделений племенного союза — ростовской мери. Сходный процесс формирования родственных группировок наблюдается в тот же период в бас-

сейне Плещеева озера и в других районах Волго-Клязьминского междуречья.

Археологическая информация о древностях в ареале северо-восточной (костромской) мери до недавнего времени оставалась крайне ограниченной. Лишь с возобновлением в 1980-х годах А. Е. Леонтьевым и автором настоящего очерка широкого обследования Приволжья и Заволжья был выявлен и стационарно исследован ряд новых памятников раннесредневековой эпохи. В частности, осуществлены раскопки городища, селища и грунтового могильника у дер. Попово на р. Унже, позволившие воссоздать картину развития финно-угорской культуры на востоке региона с VI по X в. Установлено, что в указанный период Костромское Поволжье и его северные окраины были заняты редкими и территориально обособленными родовыми группами, еще

далекими от слияния в крупные этносоциальные общности. Местная культура, хотя и оказывается близкой кругу древностей летописной (центральной) мери, имеет смешанный характер и явно формировалась в условиях тесных многовековых контактов с восточными соседями — средневековыми мари́ями.

Хозяйство мери было комплексным, ведущая роль в нем принадлежала скотоводству. Земледелие занимало подчиненное место, и его значение в экономике начало повышаться лишь с последней четверти — конца I тысячелетия н. э., т. е. в эпоху установления связей аборигенов края с Древней Русью. Высокого уровня достигли кузнечное, ювелирное и другие ремесла, однако до X в. они в основном оставались в рамках домашних промыслов. Яркое свидетельство этого — преобладание на мерянских грунтовых могильниках погребений женщин-литейщиц с атрибутами их производственной деятельности (тигли для выплавки бронзы и серебра, льячки — глиняные ложечки для разливания расплавленного металла в формочки). О том, что именно в руках женщин было сосредоточено изготовление украшений, говорит и распространение в местной среде своеобразной наборной техники «вязания». Она заключалась в начальном изготовлении отдельных мелких деталей из различных видов бронзовой проволоки — плетеных «косичек», витых или простых шнуров, спиралек, а также шариков зерни. Затем эти элементы спавались между собой в сложные подвески, среди которых особую популярность у мери имели коньковые амулеты и каркасные треугольные украшения. Такая кропотливая и длительная работа придавала неповторимую индивидуальность большому числу изделий, но вместе с тем она не могла носить массового ремесленного характера, рассчитанного на широкий сбыт. Лишь с рубежа I—II тысячелетий н. э., когда ювелирное дело переходит в руки профессионалов-мужчин, архаическая домашняя техника «вязания» начинает заменяться серийными отливками законченных образцов финских украшений.

Следует отметить и высокий уровень косторезного искусства. Наиболее ярко оно проявилось в изготовлении гребней, нередко украшенных изображениями конских головок, и в производстве богато орнаментированных копоушек — миниатюрных принадлежностей женского туалета, рукоятей ножей и иных костяных поделок.

Бурная переходная эпоха последней четверти I тысячелетия н. э. способствова-

ла имущественной и социальной дифференциации мерянского общества, становлению в местной среде дофеодальных отношений на стадии военной демократии. Это подтверждается и историческими сведениями — вспомним хотя бы: неоднократное участие мерянских отрядов, возглавляемых походными вождями, в боевых действиях первых русских князей.

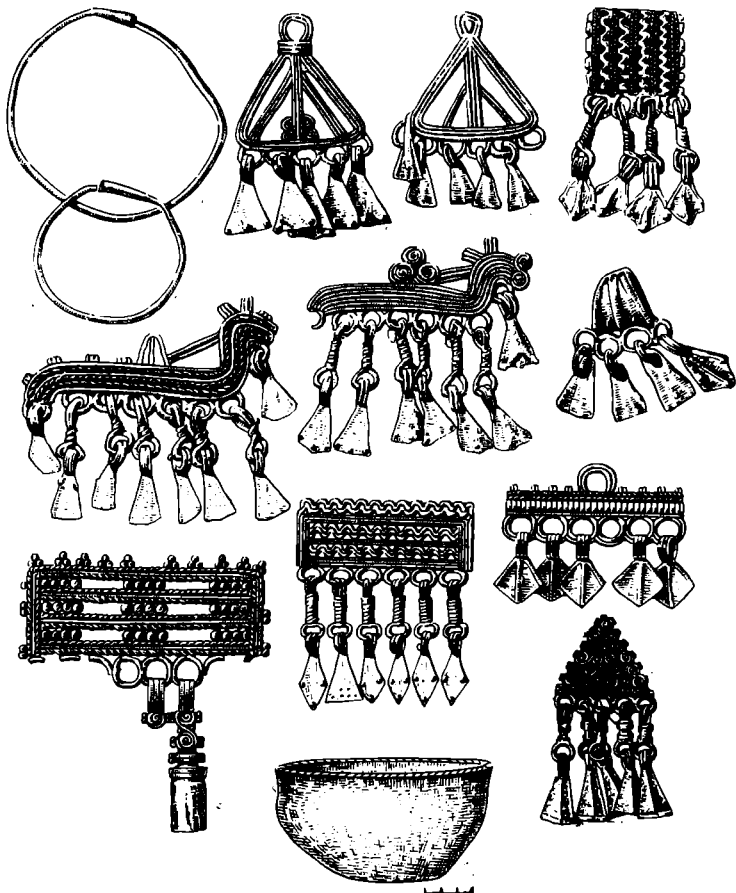
МЕРЯ В СИСТЕМЕ ФОРМИРУЮЩЕЙСЯ ДРЕВНЕЙ РУСИ

Включение летописной (центральной) мери в орбиту зарождающегося Древнерусского государства определялось началом функционирования Великого Волжского пути, с конца VIII—IX в. связавшего страны Балтики с Волжской Болгарией, Хазарией и арабским Востоком. Международная водная магистраль, пересекавшая в широтном направлении Восточно-Европейскую равнину, явилась тем стержнем, вокруг которого устанавливались первые торговые, культурные и социально-политические контакты северных славянских и финских племен.

Каковы же археологические свидетельства этих новых явлений, затронувших исторические судьбы мери? К IX в. принадлежат древнейшие клады восточных монет на Верхней Волге в бассейнах оз. Неро и р. Клязьмы. Их связь с международной торговлей подтверждается наличием на некоторых арабских дирхемах граффити — скандинавских рунических знаков и изображений воинских атрибутов. В этом же столетии под будущим городом Ярославлем появляются первые торгово-ремесленные поселения, документированные ранними курганными некрополями и Тимеревским поселком своеобразного протогородского облика. В составе обитателей этих центров средоточения международного обмена находились новгородские словене, скандинавы и прибалтийские финны. Сюда же постепенно начинает стекаться и местное мерянское население. Указанные памятники позволяют проследить путь первичного освоения Волго-Клязьминского междуречья выходцами с северо-запада.

Ранний северо-западный импульс достиг в это время и территории ростовской мери. Сарское городище, сохраняя статус племенного центра, превращается вместе с тем в торжище с широкими внешними связями. Здесь появляются вещи северноевропейского происхождения, древнейшие из которых датируются концом VIII — началом или первой половиной IX в. и оказываются синхронными мест-

Древности летописной (центральной) мери, в том числе коньковые амулеты и прочие украшения, которые изготовлялись женщинами с использованием своеобразной техники «вязания». IX—X вв.

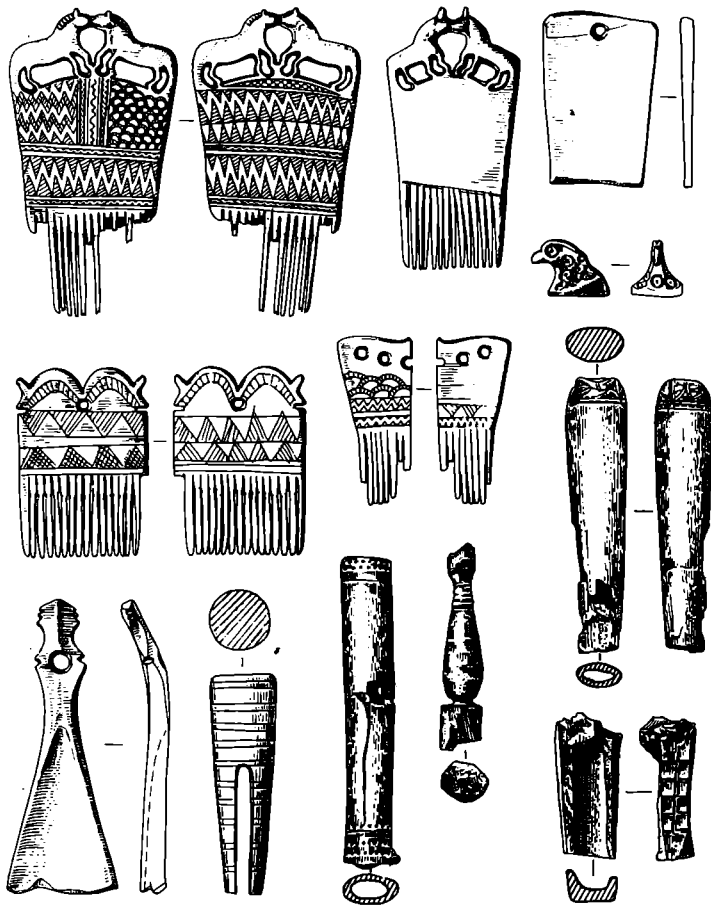


нымкладам восточных монет первой трети IX в. Вполне реально высказанное в литературе мнение о связи этих археологических данных с летописными известиями о дани, которую платила меря варягам до их изгнания «за море». Разумеется, «дань» в этом контексте приобретает расширительное значение и оказывается лишь составной частью начальных контактов аборигенов края с землями будущей Северной Руси.

С X в. изменения в местной культуре становятся еще более значительными. В быт обитателей финских поселков входят новые орудия труда и оружие, неизвестные до сих пор бытовые предметы. Наблюдаются попытки мерянских кузнецов приобщиться к навыкам восточнославянской ремесленной технологии. Но все эти изменения не затрагивали еще самой основы существования этносоциальных общностей. По-прежнему сохранялись племенные центры и тяготеющие к ним сгустки финских поселений, продолжали использоваться типичные для

мери грунтовые могильники. Отношения летописной мери с Русью ограничивались до определенного времени данническими и союзническими обязательствами, установленными еще при князе Олеге.

А что же происходило в эту переломную эпоху в землях северо-восточной (костромской) мери? До последней поры археологические свидетельства о приобщении аборигенов Костромского края к ранней международной торговле отсутствовали. Регион представлялся неким «медвежьим углом», включенным в систему внешних связей лишь с XII в. Качественно новая информация была получена при проведении автором раскопок Унорождского городища — племенного центра X в. локальной финской группировки, обитавшей в бассейне Галичского озера. Ее этноним поддается расшифровке: построенный в древнерусскую эпоху на берегу озера город Галич именуется в летописных источниках «Мерским». При исследовании памятника выявлена крупная производственная зона посе-



Костяные изделия X в. из раскопок городища Унорож (бассейн Галичского озера).

ления, занятая кузнечными горнами, металлоплавильными печами, косторезными мастерскими. Среди находок масса стеклянных бус, ввозившихся с северо-запада. Встречены изделия ладожского и скандинавского происхождения; украшения, характерные для белозерской веси; импортная керамика из Волжской Болгарии и арабские дирхемы. Вместе с тем ярко прослеживаются контакты с северо-восточными областями, прежде всего с Вятско-Камским междуречьем.

Вырисовывающаяся картина — развитие ремесла, обширные внешние связи — в целом оказывается сходной с ситуацией, сложившейся в X в. в землях центральной мери. Однако объяснить этот феномен включением галичской племенной группировки в систему Волжско-Балтийского пути не представляется возможным. Речь, по-видимому, может идти о существовании другой международной торговой артерии, пролежавшей по северным рекам Сухоне и Вычегде и связывавшей Новгородскую зем-

лю с Прикамьем и Приуральем. Значительно позднее именно по этому пути продвигались крестьянские выходцы с северо-запада, осуществлявшие массовую колонизацию Костромского Поволжья.

МЕРЯ И СЛАВЯНЕ

Новый этап взаимоотношений славян и центральной мери документирован широким распространением курганных могильников, грандиозные по размаху раскопки которых были проведены в 1851—1854 гг. графом А. С. Уваровым и П. С. Савельевым. За четыре сезона в округе Ростова, Переславля-Залесского, Юрьева-Польского, Суздаля и по всему течению Нерли-Клязьминской в 163 местностях было вскрыто около 7700 насыпей. В результате «Суздальская область была так основательно очищена от курганов»⁸, что в боль-

⁸ Спицын А. А. Владимирские курганы // Изв. Императорской Археологической комиссии. Вып. 15. СПб., 1905. С. 88.

шинстве районов практически не сохранилось нетронутых погребений. Эти могильники, вошедшие в науку под общим названием «Владимирские курганы», являются основным источником для изучения этнокультурных процессов на северо-востоке Руси.

Уже изначально вопрос о племенной принадлежности населения, оставившего неизвестные здесь ранее земляные насыпи, превратился в предмет активного научного обсуждения. Начало дискуссии было положено первым исследователем этих памятников А. С. Уваровым, опубликовавшим результаты своих раскопок в труде под названием «Меряне и их быт по курганным раскопкам»⁹. Позднее неоднократно высказывалась точка зрения о древнерусском характере курганов. В настоящее время утвердилось мнение о сложном составе жителей края, погребенных под искусственными насыпями, но при их преимущественной связи, однако, со славянской земледельческой колонизацией.

В общем виде картина крестьянского освоения Ростово-Суздальской земли вырисовывается следующим образом. Со второй четверти X в. на плодородных почвах ополей начинают оседать группы нового населения, продвигавшиеся в основном с северо-запада по уже хорошо известным водным путям. Археологические данные позволяют предполагать, что заселение на раннем этапе осуществлялось родовыми коллективами — общинами. Интересной иллюстрацией этого положения является текст достаточно древнего предания, занесенного в так называемый Хлебниковский летописец. В нем рассказывается о первых славянских обитателях окрестностей оз. Неро, которые «видеща, яко место то зело красно и мнози бяху туловы в дебрях лесных и во озере, обильные пажити, многочисленныя борти и бобровые гоны», поселились в месте, названном «по старине Угожь», где «живяще кийждо себе по родовом своим»¹⁰.

В этом ярком и достаточно реалистичном повествовании о появлении пришельцев на побережье мерянского озера Неро, к сожалению, отсутствуют сведения об их взаимоотношениях с коренными обитателями края. С одной стороны, сюда продвигались древнерусские земледельческие общины, сохранявшие традиционные черты родо-

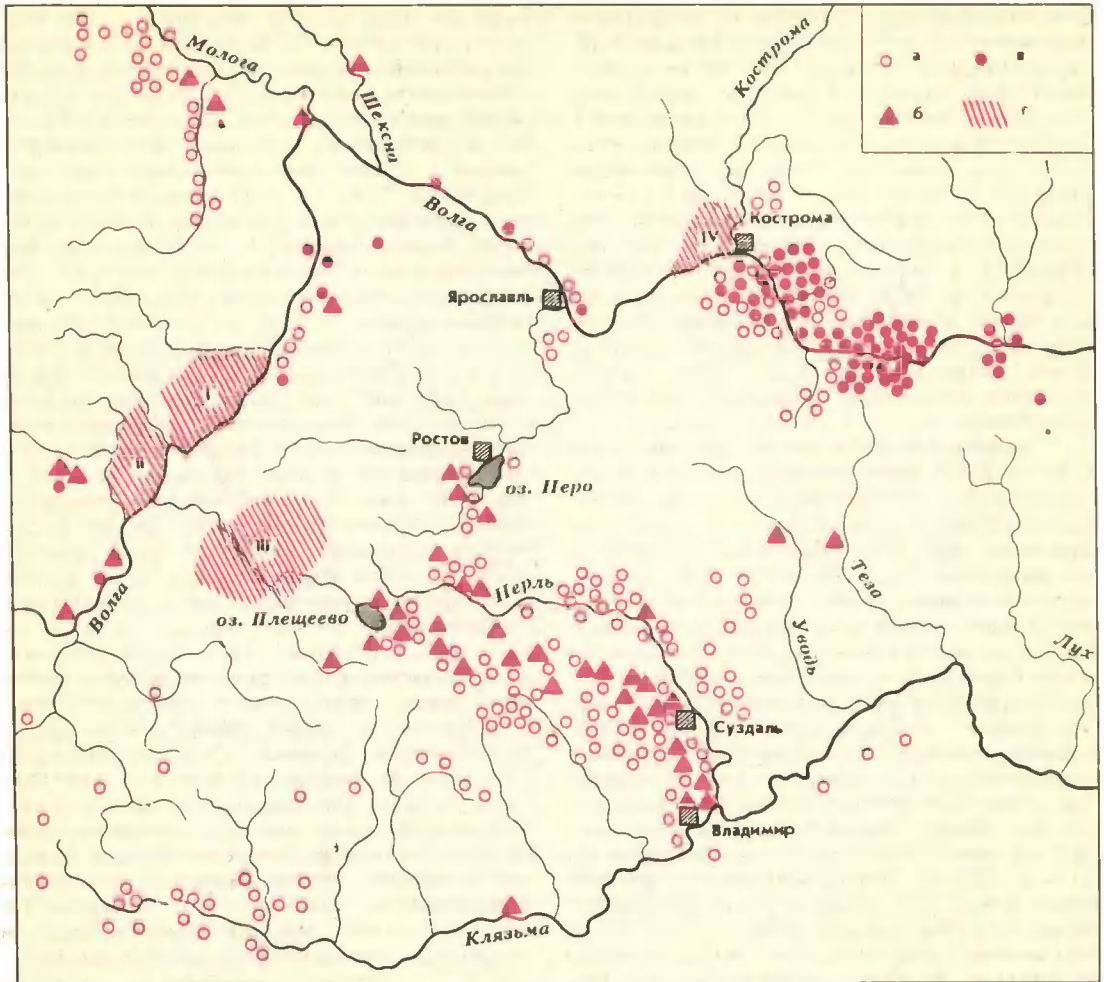
вого уклада; с другой — проживали местные родовые коллективы, осознававшие свою принадлежность к мерянской племенной общности. Установлено, что славянские поселения чаще всего возникали в непосредственной близости от мерянских и нередко непосредственно граничили с ними. В результате складывалась система чересполосного обитания автономных разнотипных групп, отношения которых на начальном этапе ограничивались торговым и культурным обменом, в редких случаях — брачными связями. Последние археологические прослеживаются по захоронениям женщин-мерянок в древнерусских курганных могильниках второй половины X в.

Районы наивысшей концентрации земледельческого населения — сельские волости — создавали необходимую основу для возникновения здесь древнейших «градов» Ростово-Суздальского княжества. В первой половине X в. в центре плодородного ополья строится Суздаль — славянский укрепленный центр, которому предшествовал небольшой мерянский поселок. Не позднее середины X в. также на месте мерянского поселения возникает древнерусский Ростов, застройка которого уже к концу столетия приобретает типичную городскую планировку. В 988 г. Ростов передается во владение князю Ярославу Владимировичу, позднее вошедшему в историю как Ярослав Мудрый. Тогда же здесь утверждается епископия — проводник христианизации разноязычного населения Залесской Руси. Примечательно, что вплоть до начала XI в. Ростов как форпост княжеско-феодалной колонизации северо-восточных земель существует наряду со своим социальным антиподом — Сарским городищем, сохранявшим статус мерянского племенного центра.

Неустойчивое равновесие между двумя этносоциальными структурами было окончательно разрушено в первой половине XI в. Именно в указанное время перестают существовать мерянские укрепленные поселения — центры финских сельских округ. Тогда же прекращаются захоронения на грунтовых мерянских могильниках. Не менее красноречивые свидетельства изменившейся ситуации содержат материалы Владимирских курганов. В зонах чересполосного славяно-финского обитания резко возрастает количество древнерусских мужских захоронений с оружием, связанным с развернувшимися военными конфликтами между пришельцами и аборигенами края. Одновременно в славянские поселки происходит приток женщин из теряющих преж-

⁹ Труды II Археологического съезда. Т. 2. М., 1871. С. 633—847.

¹⁰ Более подробно см.: Леонтьев А. Е., Рябинин Е. А. // Сов. археология. 1980. № 2. С. 67—79.



Этнокультурная ситуация в Ростово-Суздальской земле X—XIII вв.: а — славяно-русские курганные могильники; б — курганные могильники с субстратными элементами центральной мери; в — курганные могильники с субстратными элементами северо-восточной мери; г — позднесредневековые станы с этнонимическими названиями [I — Мерещий; II — Чудской; III, IV — Мерский].

ную автономию и этническую замкнутость мерянских общин.

В Новгородской IV летописи сохранилась интересная запись, проливающая свет на характер этих событий. В 102 г. Ярослав Мудрый, подавив волнения в Суздальской области, имевшие, по-видимому, не только социальную, но и этническую окраску, «устави ту землю»; в отличие от прежнего устава 882 г. меря при этом не упоминается. Очевидно, при Ярославе было юридически оформлено сложившееся новое положение на северо-востоке Руси, в кото-

ром уже не оставалось места для существования автономных иноязычных образований. К этому переломному моменту вполне применимо определение, высказанное известным исследователем древнерусской культуры Н. Н. Ворониным: «Меря как население земли не исчезла в процессе феодализации края, но перестала существовать как этническое и племенное целое»¹¹.

Ломка традиционного племенного уклада, происходившая, судя по археологическим и некоторым письменным данным, в условиях резко обострившейся обстановки на северо-востоке Руси, способствовала ассимиляции мери и включению ее в состав древнерусской народности. Ценную информацию об этом содержат материалы

¹¹ Воронин Н. Н. Владимиро-Суздальская земля в X—XIII вв. // Проблемы истории докапиталистических обществ. № 5—6. Л., 1934. С. 205—206.

Владимирских курганов. Из числа документированных погребений не менее 600 комплексов выделяются наличием местных финно-угорских элементов. Наиболее легко распознаются захоронения женщин-мерянок. Даже попадая в чужеродную среду, женщины — основные носительницы племенных традиций — сохраняли этническое самосознание, отразившееся в археологически уловимых признаках субкультуры. При образовании смешанных семей население древнерусских поселков приобретало своеобразный облик, в котором сочетались как славянские, так и финно-угорские черты; такой синтез затрагивал и область материальной культуры, и систему духовных представлений.

Новый массовый приток земледельцев в XI—XII вв. окончательно изменил этнодемографическую ситуацию в пользу славян. В это время на северо-восток начали продвигаться уже не крупные общины с чертами родового быта, а небольшие группы крестьян — чаще всего отдельные семьи. Густая сеть малых «починков», покрывшая ополья и лесные районы Волго-Клязьминского мездуречья, охватила многие участки, на которых еще сохранялись «островки» самобытной мери. Стирание этнических различий облегчалось развитием феодальных отношений и христианизацией разноязычного населения. К концу XII — началу XIII в. процесс обрусения центральной мери был уже близок к своему завершению.

В XII в. разворачивается массовая крестьянская колонизация племенной территории северо-восточной мери. На материалах около 1500 курганов, исследованных по берегам Волги и ее притоков, прослеживается сложение своеобразной «областной» культуры — древнерусской по внешним признакам, но финно-угорской в своей основе¹². В ее формировании приняли участие как славянские и смешанные славяно-финские группы земледельцев, продвигавшиеся из восточных окраин Новгородской земли, бассейна Верхней Волги и Волго-Клязьминского мездуречья, так и коренные жители края, сохранявшие черты культурного сходства с предками марийцев.

Завершившееся в конце XII — начале XIII в. включение Костромского Поволжья в состав Ростово-Суздальского (Владимирского) княжества не оказало существенно влияния на изменение этнической ситуации в регионе. Раскопки сотен небольших сельских могильников указывают на преоб-

ладание здесь вплоть до конца существования курганного обряда именно финского населения, медленно и постепенно приобщавшегося к древнерусской культуре. Однако мирное эволюционное развитие было резко и неожиданно прервано в результате сильного потрясения — монголо-татарского нашествия 1238 г., в ходе которого завоеватели «полонили все грады по Волге», дойдя до Галича-Мерьского. На пути их следования оказалось большинство костромских поселений с курганными кладбищами, тяготеющих к берегам Волги. Страшный погром, уничтожение деревень и передвижка населения способствовали разрушению старых традиций, замене их новыми. Образование в 1240-х годах Костромского удельного княжества, быстрый рост Костромы, превратившейся уже во второй половине XIII в. в крупный торгово-ремесленный город и центр христианизации края, приток в Заволжье выходцев из разоренных южных областей — все это вело к тому, что к концу столетия приволжская меря исчезла как особый этнос.

Иная ситуация сложилась в районах, оказавшихся вне зоны древнерусского освоения. Таковы «Мерьские» и «Чудские» станы и волости, а также аналогичные административные единицы лесного Заволжья XIV—XVI вв., имеющие финские названия (типа Иледам, Ликурги, Шачебал, Шухомаш и т. д.). В некоторых из них еще через несколько столетий после включения края в состав русских земель продолжала звучать финноязычная речь. Согласно письменным данным, жители Чудской волости, расположенной в окрестностях Галича-Мерьского, в XIV в. говорили «по-чудски»; враждовавшие между собой в XV в. галичские князья нанимали в помощь «чудь и лугувую черемису». Ассимиляция этих остаточных мерянских групп протекала уже в эпоху массовой «монастырско-крестьянской» колонизации, когда обширные пространства Приволжья и Заволжья покрываются сотнями скитов и монашеских обителей, быстро оброставших крестьянскими селениями.

Меря как составной компонент формирования древнерусской и русской народности не исчезла бесследно. Ее наследие проявляется в особенностях современных областных говоров, фольклоре и обрядовых традициях. Современное великорусское население Ярославской, Владимирской, Ивановской, Костромской областей и северной части Московской области сохранило в виде этнографических пережитков многие черты, уходящие своими истоками в культуру коренного населения края — древней мери.

¹² Рябинин Е. А. Костромское Поволжье в эпоху средневековья. Л., 1986.

Вокруг экологии Волжского бассейна

М. Ю. Зубрева
Москва

В НАЧАЛЕ сентября 1993 г. в Тольятти в Институте экологии Волжского бассейна РАН состоялась международная конференция «Экологические проблемы бассейнов крупных рек». Хотя со словом «экология» сегодня чаще всего связаны эмоции отрицательные, повод для встречи специалистов из России и ближнего зарубежья в Тольятти был праздничным — 10-летие института. Столь юное, на первый взгляд, академическое учреждение, расположенное на берегу крупнейшего из волжских водохранилищ, имеет крепкие корни, поскольку выросло из Куйбышевской биостанции. Она существовала с 1957 г. на том же месте при Институте биологии внутренних вод АН СССР. Последней стоит на берегу самого старого из волжских водохранилищ — Рыбинского, что в пос. Борок Ярославской обл. У этого института и у биостанции в Тольятти один основатель — легендарный полярик и замечательный организатор науки И. Д. Папанин.

Когда на биостанции под руководством ее первого директора Н. А. Дзюбана начались исследования процессов, происходящих в недавно заполненном по проекту «Большая Волга» водохранилище, нынешний Тольятти еще назывался Ставрополем-на-Волге, хотя место, где находился этот населенный пункт и многие постройки (вместе с собором), ушло под воду. В 1964 г. по «просьбе трудящихся» волжский город получил имя скончавшегося в тот год генсека компартии Италии.

Вообще с географическими названиями здесь, на средней Волге, достаточно сложно. Нет Ставрополя, но район, куда входит крупный город Тольятти (уже более 700 тыс. жителей), называется Ставропольским. В перестроечные времена Куй-

бышев снова стал Самарой, а Куйбышевское водохранилище называют теперь Самарским или Жигулевским морем.

И чем не море, особенно вблизи института — на широкий и протяженный песчаный пляж накатывает настоящая волна. А виды здесь ничуть не уступают крымским. Рядом с лабораторным корпусом еще в 50—60-х годах разбили дендропарк, в котором собраны отовсюду деревья, кустарники и цветы.

Вдали, на противоположной стороне «моря» — знаменитые Жигули, возвышенная, изрезанная глубокими оврагами местность. Обращенные к Волге крутые склоны иногда высветаются над рекой настоящими скалами. С них когда-то высматривали разбойники добычу — пловушцы по Волге караваны судов. Дух захватывает от открывающейся с горы Стрельной (351 м над ур. м.) панорамы волжских просторов — синей водной глади и зелени островов. Места здесь не только красивые, но и с нестандартными для средних широт биоценозами. В близком соседстве встречаются таежные, степные и даже полупустынные растения и животные. Не случайно В. Н. Сукачев говорил, что вряд ли найдется во всей средней России для натуралиста более интересная местность, чем Жигули.

Здесь работает Жигулевский государственный заповедник, территория которого, в свою очередь, входит в национальный природный парк Самарская Лука. Эти охраняемые территории (особенно заповедник, защищенный от двуногих «любителей красоты» — мы, участники конференции, попали на его территорию по специальному разрешению) лишь небольшой противовес громадному антропогенному прессу на природу, характерному для Среднего Поволжья. В Самарской Луке, местности, примыкающей к глубокому изгибу Волги в ее среднем

течении, располагается Самарский промышленный узел — города Самара, Новокуйбышевск, Чапаевск, Октябрьск, Сызрань, Жигулевск и уже упомянутый Тольятти — с населением более 2 млн. человек. Здесь, кроме всем известного ВАЗа, множество других предприятий. Среди них несколько объектов «большой химии». Ну а «экологический» результат их деятельности — сильное загрязнение всех природных компонентов. Например, в Жигулевском заповеднике, по словам сопровождавшего нас его сотрудника, содержание бенз(а)пирена в пробах снега как-то превысило 70 ПДК. Излишне зелены воды водохранилищ, рек и речек, многовато дохлых рыбешек на берегу Жигулевского моря. И если рассматривать со стороны Института экологии Волжского бассейна противоположный берег с пристрастием, то увидишь обезображенный ковшами экскаваторов берег — в местечке, что носит поэтическое название Яблоневый овраг, добывают стройматериалы для Тольятти. В общем, много здесь проблем с «экологией». Именно поэтому биостанция с первично «водной» направленностью и была превращена в Институт экологии целого региона.

ИНСТИТУТ НА ДЕСЯТОМ ГОДУ ЖИЗНИ

Постановление Президиума АН СССР от 19 января 1984 г. определило основные направления научной деятельности института:

исследование бассейна крупной реки с высоким уровнем индустриализации (на примере Волги) как единой экологической системы;

разработка мер по охране, стабилизации и реконструкции наземных экосистем;

теоретическое обоснование сохранения и расширенного воспроизводства гидробионтов,



Вид с территории института на Волгу и Яблоневый овраг.

разработка научных основ интенсификации рыбного хозяйства;

изучение наземных и водных экосистем, с целью обоснования рационального природопользования, экологически оптимального размещения объектов.

Таков спектр проблем, которые должен решать сравнительно небольшой коллектив — всего 240 человек (из них 60 научных сотрудников). Работы ведутся по трем основным направлениям: экология водных экосистем, экология наземных экосистем и функциональная экология. В институте 15 научных подразделений — лабораторий (в том числе в Нижнем Новгороде и Ульяновске) и научно-исследовательских групп. В них решаются задачи фундаментальные и прикладные. В институте пытаются самостоятельно зарабатывать, не слишком надеясь на помощь Академии. Производят липидные препараты, летицины из боя куриных яиц, препараты на основе пчелиного и змеиноного яда, грибной мицелий и сами грибы.

С гордостью гостям демонстрируют институтский серпентарий. Здесь содержат,

«доют» и даже разводят ядовитых змей: гюрзу, гадюку и кобру (впрочем, разводят только гадюку). Сотрудники новой лаборатории биологически активных веществ, совместно с Нижегородским государственным университетом и научно-производственной фирмой «Биоком» (г. Тольятти), пытаются заполнить образовавшийся за последние годы вакуум в получении зоотоксинов в России. А в лабораторном помещении группы микологических исследований экосистем на подвешенных в парниках мешках с шелухой от семечек созревают «лепестки» вешенки обыкновенной. Выращивают здесь и шампиньон двуспоровый.

Участники конференции побывали на круглогодичном стационаре «Кольцовский», расположенном в зоне национального природного парка Самарская Лука, где работают паразитологи. К богатствам института принадлежат два научно-исследовательских судна и библиотека, в которую были переданы книги из личных библиотек В. Н. Скулачева, М. С. Гилярова и др.

Создан институт в его нынешнем виде, «с новым лабораторным корпусом» и дееспособным коллективом, уси-

лиями бывшего директора С. Н. Коновалова и его «команды» не без помощи местных властей: новое здание, например, было построено за рекордно короткий срок — 25 месяцев. Люди в институте, особенно научные сотрудники, приезжие, и им нужно жилье.

Позже институтом руководил В. И. Попченко, потом «триумvirат»: В. И. Попченко, Г. П. Краснощекоев и Г. С. Розенберг. В конце 1992 г. директором был избран Г. С. Розенберг, по первому образованию математик и кандидат физико-математических наук, а по второму — биолог и доктор биологических наук. Называет себя системным экологом, заведует лабораторией биоиндикации и экологического прогнозирования. В этой лаборатории создана компьютерная экспертная система «Регион», о которой пойдет речь дальше.

С момента создания института было ясно, что решить экологические проблемы Волжского бассейна (даже в научном плане) такому небольшому коллективу не под силу, однако на нем лежали координация исследований, подготовка фундаментальных экологических программ, а также квалифицированных специалистов — сотрудники института преподают в ближних университетах (Ульяновском, Нижегородском). А всякого рода экологических совещаний за 10 лет здесь проведено целых 15, и в том числе в 1990 г. «Теоретические проблемы экологии эволюции», посвященное 100-летию известного русского биолога А. А. Любищева. Ученый был приглашен в институт прочесть серию лекций, но вскоре заболел и скончался в больнице г. Тольятти, завещав здесь и похоронить себя. В 1990 г. прах А. А. Любищева перезахоронили на территории института и поставили на могиле памятную доску, испытав при этом значительные трудности: А. А. Любищев важной академической персоной никогда не значился.

ТАК МНОГО ЭКОЛОГИЙ

Как и многие другие совещания по проблемам эко-

логии, нынешнее началось с разговора о том, что называть экологией. Как известно, этим термином немецкий естествоиспытатель Э. Геккель в 1866 г. назвал область биологии, занимающуюся взаимоотношениями организма со средой обитания. Но поскольку человек тоже организм, да еще и считающий себя самым главным, то экологией все чаще стали называть то, что имеет отношение к его собственной среде обитания. С этой трансформацией термина и началось пленарное заседание конференции. (Точнее, оно началось несколько неординарно — с «Маленькой серенады» Моцарта в исполнении ансамбля Тольяттинской филармонии.)

С пленарным докладом «Антропоцентризм и биоцентризм в экологии» выступил председатель Научного совета РАН по проблемам экологии биологических систем И. А. Шилов, вспомнивший об экс-президенте экс-страны, который любил спрашивать у народа: «Ну как у вас с экологией?» Потому-то об экологии знают все, и все по-разному. Между тем оформилось два аспекта экологии — антропоцентрический (в центре внимания — человечество) и биоцентрический (когда в центре внимания жизнь во всех ее проявлениях). Сюда, естественно, входит и человек, гетеротроф или полифаг — животное всеядное. Известно, что многообразие жизни — гарантия ее устойчивости. Значит, чем больше удастся сохранить в биосфере, тем больше гарантий выжить и человечеству. Приходится учитывать, что человек — существо не только биологическое, но и социальное. Его небиологические потребности биосфера не выдерживает, поэтому ее перексплуатация в какой-то мере закономерна.

А. Ф. Алимов, гидробиолог из Санкт-Петербурга, начал свой доклад «Стабильность и выносливость водных экосистем» с упрека ученому миру, не препятствующему под серьезный биологический термин «экология» подсовывать обывателю «всяческую пену». Действительно, каких только экологий нет! Существует даже экология секса, экология непознанного. Так, между прочим,



Директор Института экологии Волжского бассейна РАН Г. С. Розенберг выступает на конференции с докладом.

называлась программа на «Радио России».

Еще об одной экологии говорил на конференции Г. С. Розенберг: «Борьба за суверенитет заставляет местные власти не только взывать к национальному самосознанию и скрупулезно оценивать свои ресурсы и экономические возможности, но и включиться в «соцсоревнование» по подчету потерь в результате развития, в призрачной надежде получить компенсацию из уже российского бюджета (а прежде — союзного) бюджета. И здесь на первое место выходит территориальная экологическая обстановка. Многие местные Советы в числе первых решений определили подведомственные им регионы как «зоны экологического бедствия». Если нанести на карту эти зоны, то они покроют практически всю территорию Волжского бассейна (а если смотреть шире — то и всю страну). Нельзя отрицать, что эти решения имеют под собой определенную реальную почву, но в большинстве случаев они являют пример еще одной экологии, эмоциональной.

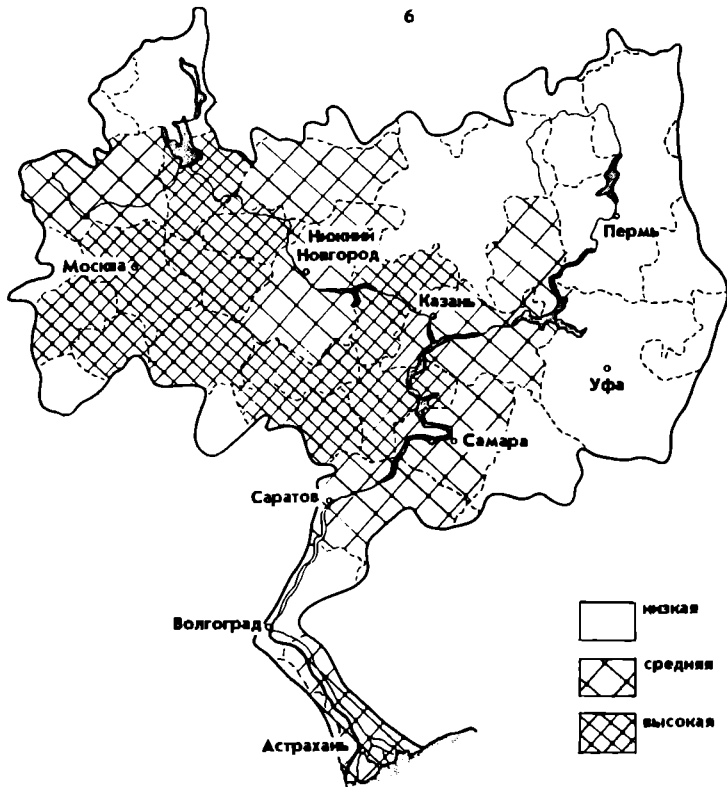
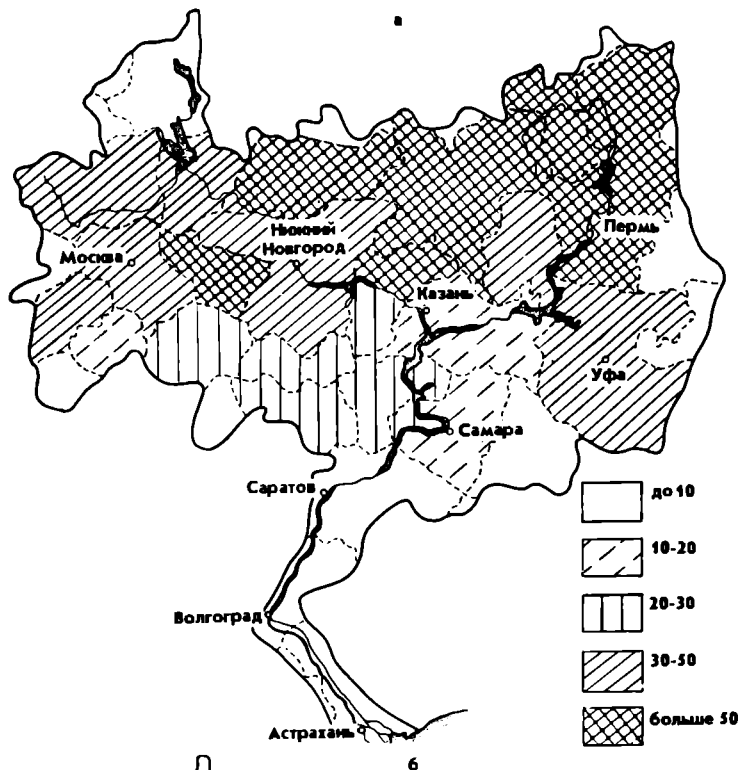
Отличительные особенности этой экологии — искренняя вера в возможность

«местечковой» экологической катастрофы, ориентация на отдельные факты, «горячие точки» и аварийные ситуации, стремление «все закрыть» без учета реальных возможностей и комплексной оценки развития сложных социально-эколого-экономических процессов и безмерный энтузиазм неопитов улучшить состояние окружающей среды при отсутствии профессионализма в решении этих вопросов.

Между тем «без знаний о состоянии экосистем региона и процессах, происходящих в них, в первую очередь под воздействием антропогенных факторов, любая природоохранная деятельность становится неэффективной».

Судьба местных Советов после прошедших с октября прошлого года событий как будто решена, но вряд ли можно ждать перемен в менталитете чиновников от экологии (в массе своей непрофессионалов). Профессионалы же должны делать свое дело.

Поэтому не так давно сотрудники Института экологии Волжского бассейна взялись за отработку своего «крупномасштабного» названия, т. е. начали собирать всю информацию, имеющую отношение к экологии Волжского бассейна, территории, с которой Волга собирает воду. Вот ее общая характеристика в докладе «Волжский



Некоторые экологические характеристики Волжского бассейна, вошедшие в базу данных и экспертную систему: а — лесистость территории Волжского бассейна [%], 1988 г.; б — заболеваемость и смертность от злокачественных новообразований; в — острота экологических ситуаций [по Б. М. Кочурову и др.]; г — загрязнение почвы цезием-137, по данным на декабрь 1991 г. [% от площади].

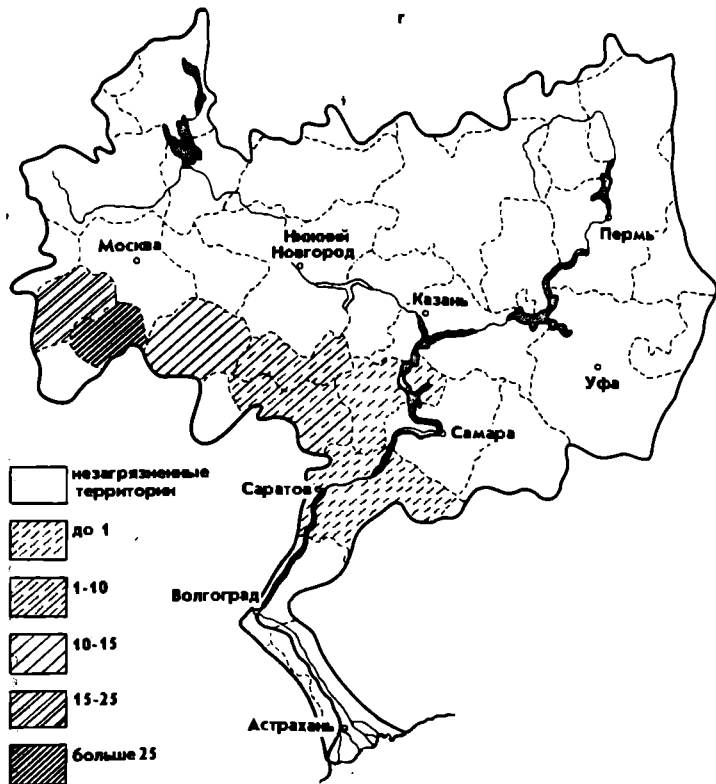
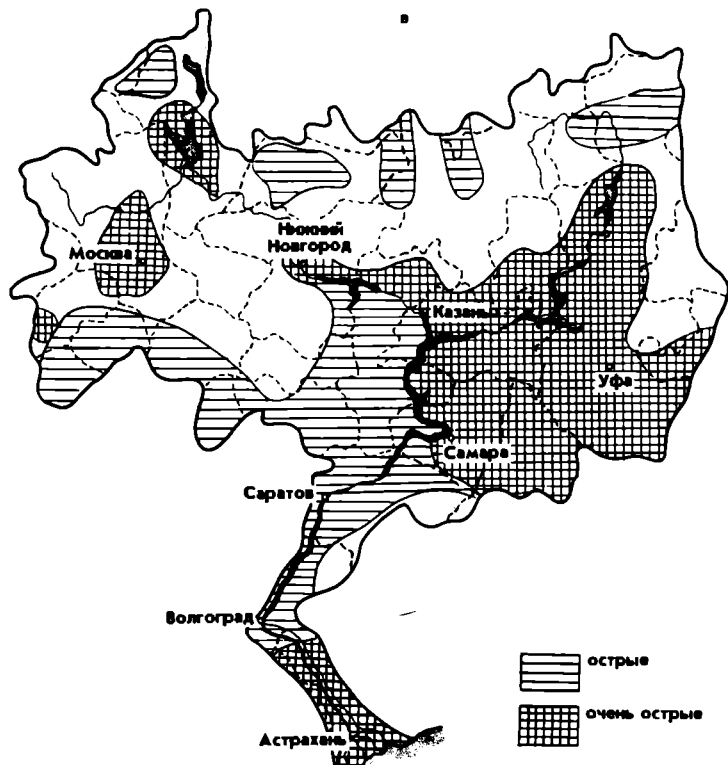
бассейн: оценка и прогноз экологического состояния», подготовленного коллективом института и представленном его директором Г. С. Розенбергом.

ВОЛЖСКИЙ БАССЕЙН

Волга — крупнейшая река Европы, национальная гордость России — протянулась на 3531 км. Площадь водосбора — 1360 тыс. км² (62,2 % европейской части России, или 8 % площади России, или почти 13 % территории всей Европы). Она включает 40 административных единиц: областей и бывших автономий, а ныне суверенных государств; две из них — в Казахстане, остальные — в России.

Население к 1989 г. составило более 38 % российского, т. е. это наиболее плотно заселенный регион республики. Прирост населения за последние 30 лет по России составил 30 млн. человек, из них в Волжском бассейне — 10,6 млн. человек. Еще более показательны данные за последние пять лет: если в среднем по России население незначительно сократилось, то в Волжском бассейне оно возросло почти на 2 млн. человек.

В Волгу и ее водохранилища непосредственно впадает 2600 рек (всего в бассейне насчитывается более 150 тыс. водотоков, рек и речек длиной более 10 км), а в Каспийское море ежегодно поступает примерно 240 км³ воды. В своем движении от истоков к устью крупнейшая река Европы пересекает лесную, лесостепную, степную, полупустынную и пустынную зоны. Строительство водохранилищ на Волге (Иваньковское, Угличское, Рыбинское, Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское, Саратовское и Волгоградское) более



чем в 10 раз замедлило водообмен в бассейне, что привело к существенному изменению гидробиоценозов и наземных экосистем. Заметим, что всего в Волжском бассейне около 300 водохранилищ.

Промышленность и сельское хозяйство в Волжском бассейне дают весомую часть всей продукции России и, соответственно, пропорционально этому велика антропогенная нагрузка на регион. В 1990 г. в Волжском бассейне произведено на 260,6 млрд. руб. промышленной продукции (более 45 % общего производства России), площадь сельскохозяйственных угодий — 65,3 млн. га (29 %), из них пашня — 45,2 млн. га (34 %).

В бассейн Волги ежегодно сбрасывается 2,3 км³ загрязненных вод (20 % всех загрязненных вод России), в атмосферу густонаселенных городов Поволжья выбрасывается 10,6 млн. т в год вредных веществ (27 % всех выбросов в России). На территории Волжского бассейна произведено 26 ядерных взрывов (более 20 % всех ядерных испытаний в России).

В 1930 г. общий вылов рыбы в Волжско-Каспийском районе составлял 614,9 тыс. т (половина общесоюзной продукции рыбы), в 1956 г. — 280,5, в 1976 г. — 81,3, в 1988 г. — 76,5 (в водохранилищах Волжско-Камского каскада — около 30 тыс. т). Вылов леща за последние 30 лет сократился в 4,5 раза, воблы — в 8, сельди — в 16, судака — в 24 раза. В результате строительства гидросооружений площадь нерестилищ осетровых на Волге сократилась в 8 раз (до 450 га), полностью ликвидированы нерестилища белорыбцы и проходной сельди. Все ГЭС Волжского каскада производят примерно 40 млрд. кВт·ч электроэнергии в год. При их строительстве было затоплено 40 тыс. км² высокопродуктивных пойменных территорий. Иными словами, 1 м² затопленной территории дает в год 1 кВт·ч энергии; естественно, это грубая оценка, но и она свидетельствует о крайне нерациональном характере использования этих территорий.



Территория института.

Все это делает регион Волжского бассейна одним из наиболее напряженных по экологической обстановке. При этом, как ни парадоксально, Волжский бассейн в экологическом (в первую очередь в системно-экологическом) плане изучен фрагментарно и явно недостаточно. И это при том, что созданы различные государственные и общественные организации по охране и спасению Волги, ежегодно проводятся «научно-экскурсионные» экспедиции по Волге, многочисленные совещания и т. п. В то же время в Волжском бассейне сосредоточен большой научный потенциал академической, вузовской и ведомственной науки, получена масса ценной информации о состоянии отдельных компонентов экосистем, которая, к сожалению, рассредоточена по разным ведомствам и не подвергается системному анализу. В нашей работе и предпринята попытка осуществить синтез имеющейся экологической информации по региону.

К 1993 г. сбор и синтез информации, имеющей отношение к экологии бассейна, почти завершены. Собраны данные почти о 500 природных и антропогенных характеристиках, «привязанных» к административным единицам региона. Поэтому все они могут быть представлены в виде карт. С некоторыми из них познакомил участников конференции Г. С. Розенберг. Проследить связи между различными параметрами, а также их блоками позволяет разработанная в институте компьютерная экспертная система «Регион».

ОБ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЕ «РЕГИОН» И «ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МАТРЕШКЕ»

Инвентаризация данных и разработка экспертной системы началась в 1989 г., когда институт получил заказ от Самарского областного комитета по охране природы оценить экологическую ситуацию в области. Примерно половина собранной информации приходилась на

природные компоненты: геологическое строение, климат, почвы, растительность, животный мир. Это наиболее правдивая информация, она содержится в картах, справочниках и составляет первый блок системы.

Второй блок — антропогенный — состоит из данных о промышленном, сельскохозяйственном, транспортном воздействии на природу. Тут масса параметров: выбросы в воду и в атмосферу (согласно статистической отчетности), валовый урожай, количество внесенных удобрений, поголовье скота и т. п.; плотность автомобилей и дорог, число дорожно-транспортных происшествий; плотность населения и рекреационная нагрузка. В этом блоке информации приходится отказываться от абсолютных величин и оперировать средними, фоновыми, так как вся статистика ненадежна: все врут, но более или менее одинаково. Данные же о воздействии военно-промышленного комплекса практически отсутствуют.

Третий блок — здоровье населения, так сказать, биоиндикатор качества среды. Анализируются сведения о заболеваемости детей и взрослых (все по 40 группам заболеваний). Среди них заболевания верхних дыхательных путей, сердечно-сосудистые, инфекционно-паразитарные, злокачественные новообразования. Правда, эта статистика еще более «грязная».

В целом для Самарской области были собраны данные о 382 параметрах. Принцип отбора информации — ее пространственное распределение, привязка к какой-то территории, но не к точным координатам, как в обычных геоинформационных системах.

Экспертная система «Регион» кроме базы данных включает модельный блок, позволяющий определять связи между отдельными параметрами и блоками параметров, строить модели регрессионного типа для прогноза экологических состояний при различных сценариях воздействия на систему. Таким образом, появляется возможность для руководителя принять разумное решение о развитии региона. Другими словами,



Берег Рыбинского водохранилища.
Фото В. П. Салтанкина.

из области эмоциональной экологии можно перейти к экологии практической.

Экспертная система «Регион» для Самарской области отмечена первой (а в институте шутят — и последней) премией Госкомприроды СССР в 1991 г. на конкурсе прогнозирования природных процессов. Планируется использовать «Регион» для оценки экологической ситуации в Нижегородской, Саратовской, Астраханской, Владимирской областях, Республике Башкортостан. Тольяттинцы надеются, что их систему применят и для России в целом.

Применялась же она пока для оценки экологической ситуации в Тольятти — городские власти заказали институту составить территориальную комплексную схему охраны окружающей среды. При этом город был разбит на квадраты, и удалось собрать довольно подробную информацию, например данные о врожденных заболеваниях новорожденных

были привязаны к месту работы и проживания матери.

Оценивалось с помощью экспертной системы воздействие на окружающую среду предприятия ландшафтного типа (карьер в пос. Яблоневый овраг). Получилась своеобразная матрица: оценка экологической ситуации на предприятии, в городе, области, в бассейне Волги. Пока в ней есть пробел — Ставропольский район.

Два года собиралась информация по экологии Волжского бассейна. Скорее всего ее анализ выльется в монографию. Предвидятся трудности с изданием: надежды на издательство «Наука» небольшие, дороговизна, нужны спонсоры. Сейчас институту в делах издательских помогает журнал для деловых людей «Интер-Волга».

На конференции работало несколько секций. В одной обсуждались проблемы речного бассейна как единой экологической системы и эколого-экономические аспекты управления бассейном. Здесь было немало сказано о несоответствии затрат на природоохранные мероприятия существующей экологиче-

ской обстановке, несовершенстве и неэффективности нынешней системы мониторинга. Отдельно анализировались экологические модификации трофических связей в водоемах под воздействием антропогенных факторов, а также структура и функционирование наземных экосистем и ландшафтов.

Не все, кто хотел приехать в Тольятти, смогли туда добраться в наше трудное время. Но участникам конференции было уютно у благожелательных хозяев, сумевших организовать праздник для себя и гостей. Но главное, что конференция, объединившая различных специалистов речным бассейном, как ярко выраженным объектом системности, внесла вклад в интеграционные процессы в науке, столь необходимые для улучшения экологической обстановки в стране.

Астрономия и общество

В. Г. Сурдин



Владимир Георгиевич Сурдин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. Область научных интересов — формирование звезд и звездных скоплений. Неоднократно публиковался в «Природе».

УСЛОВИЯ существования науки в нашей стране стремительно изменяются и приближаются к общемировым. Среди прочего это означает и коллективное, демократическое планирование научной работы. Для нас, астрономов, это воплотилось в подготовке силами Астрономического общества и Совета «Астрономия» Российской академии наук проектов федеральных программ «Астрономия-93» и «Астрономия до 2000 г.». Многие еще непривычно для нас в этой деятельности: система грантов, экспертиза проектов и т. д. Не ясны пока даже общие принципы. В этой новой для нас ситуации полезно обратиться к опыту зарубежных коллег, более внимательно познакомиться с принципами планирования науки на Западе.

В 1991 г. в США вышла книга «Десятилетие открытий в астрономии и астрофизике»¹. Она подготовлена группой известных астрономов под руководством Дж. Бакола для тех, от кого на пороге XXI в. будет зависеть судьба научных исследований Вселенной: для аспирантов и молодых ученых, выбирающих направление своей будущей деятельности, для членов университетских советов, формирующих научные планы факультетов и обсерваторий, для директоров фирм разрабатывающих новые научные приборы, и, наконец, для конгрессменов и спонсоров, решающих финансовые проблемы науки. Задача этой любопытной книги — обрисовать современное состояние и перспективы на ближайшие 10 лет для наземной и космической астрономии, обозначить систему приоритетов, способную поддержать бурное развитие астрономии, происходившее последние три десятилетия, а также укрепить лидирующее положение американских ученых в этой фундаментальной области исследований.

Как известно, астрономия — дорогостоящая наука. При сравнительно небольшом

© Сурдин В. Г. Астрономия и общество.

¹ The Decade of Discovery in Astronomy and Astrophysics, Washington: National Academy Press, 1991. См.: Природа, 1991. № 10. С. 107.

числе профессиональных астрономов (во всем мире их около 10 тыс.) она требует изрядных затрат на создание крупных приборов, почти не уступающих по размерам и стоимости таким гигантским «игрушкам» физиков, как ускорители. Поэтому перед астрономами стоит непростая задача: убедить правительство и всю общественность страны в целесообразности этих затрат.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОШЕДШЕГО ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Насколько значительным может быть прогресс в астрономии за 10 лет? Посмотрим на прошедшее десятилетие. Астрономические наблюдения, проведенные в космосе, в атмосфере, на поверхности Земли и под землей, дали следующие результаты.

Подтверждено предсказание Эйнштейна, что массивные объекты, искривляя проходящие мимо них лучи света, могут создавать эффект гравитационной линзы: изображения некоторых далеких квазаров оказались искажены влиянием массивных галактик или скоплений галактик, расположенных ближе к нам.

Обнаружены квазары, находящиеся чрезвычайно далеко от нас в пространстве и, соответственно, во времени: они сформировались, когда возраст Вселенной составлял менее 10 % от нынешнего.

Теория происхождения химических элементов в Большом взрыве получила серьезную поддержку как со стороны астрономических наблюдений звезд, так и в ходе тонких экспериментов по физике элементарных частиц.

Получены серьезные указания на то, что мы до сих пор не можем зарегистрировать излучение как минимум от 90 % вещества, заполняющего Вселенную.

Внеатмосферные наблюдения реликтового излучения, рожденного горячим веществом молодой Вселенной, доказали его высокую изотропию, а значит, и высокую степень однородности догалактического вещества. Это потребовало существенного пересмотра теории формирования галактик и их скоплений.

Определив пространственное положение большого числа галактик, астрономы обнаружили, что Вселенная при переходе к значительно большему масштабу сохраняет более регулярную структуру, чем это предсказывалось большинством космологических теорий.

Получены новые аргументы в пользу того, что в ядрах некоторых галактик

«ПРИРОДА» о достижениях астрономии последнего десятилетия

Блюх П. В., Минаков А. А. ГРАВИТАЦИОННЫЕ ЛИНЗЫ // 1982. № 11. С. 59.

Вайнер Б. В., Щекниев Ю. А. ДЕЙТЕРИЙ ВО ВСЕЛЕННОЙ // 1989. № 4. С. 25.

СКРЫТАЯ МАССА В ГАЛАКТИКЕ // 1987. № 2. С. 109.

Сучков А. А. СКРЫТАЯ МАССА В ГАЛАКТИКАХ // 1987. № 4. С. 101; ЭКСПЕРИМЕНТ «РЕЛИКТ» // 1984. № 6. С. 105.

Бисноватый-Коган Г. С. ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ФОНА НА СПУТНИКЕ «СОВЕ» // 1990. № 9. С. 109.

Эйнасто Я. Э., Янисте Я. А. В ПОИСКАХ КРУПНОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ ВСЕЛЕННОЙ // 1982. № 12. С. 80.

ЧЕРНАЯ ДЫРА В ЦЕНТРЕ ГАЛАКТИКИ? // 1992. № 1. С. 103.

ЧЕРНАЯ ДЫРА В ГАЛАКТИКЕ? // 1992. № 7. С. 102.

ЧЕРНАЯ ДЫРА ПО СОСЕДСТВУ // 1992. № 2. С. 100.

Гуриц Л. И. «ИРАС» НАБЛЮДАЕТ ГАЛАКТИКИ И КВАЗАРЫ // 1984. № 10. С. 58.

Сейфер Б. Г. ИНФРАКРАСНАЯ ВСЕЛЕННАЯ «ИРАС» // 1991. № 8. С. 34.

Ефремов Ю. Н. ВСПЫШКА СВЕРХНОВОЙ В БОЛЬШОМ МАГЕЛЛАНОВОМ ОБЛАКЕ // 1987. № 6. С. 102.

Березинский В. С. НЕЙТРИНО ОТ СВЕРХНОВОЙ 1987a // 1987. № 8. С. 95.

Ильин В. Г., Илясов Ю. П., Кузьмин А. Д. ПУЛЬСАР — НЕЗАВИСИМЫЕ СТАНДАРТЫ ВРЕМЕНИ // 1990. № 2. С. 60.

Северный А. Б. СОЛНЦЕ КАК ЗВЕЗДА // 1983. № 4. С. 59.

ПЛУТОН-ХАРОН — «ДВОЙНАЯ ПЛАНЕТА» // 1988. № 8. С. 100.

ОПТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ: РЫВОК К ДИФРАКЦИОННОМУ ПРЕДЕЛУ // 1990. № 5. С. 105.

и квазарах находятся массивные черные дыры.

Со спутника «ИРАС» в далеком ИК-диапазоне обнаружено множество любопытных процессов, связанных с рождением звезд. Например, вокруг молодых звезд открыты газопылевые диски — вещество протопланетных туманностей. Были обнаружены галактики, целиком охваченные интенсивным процессом звездообразования; в ИК-диапа-



Млечный Путь, как он виден с помощью оптического телескопа (вверху) и с помощью инфракрасного телескопа спутника «СОБЕ». Изображение в середине получено в диапазоне 1,2—3,4 мкм и дает представление о распределении звезд в диске Галактики, а изображение внизу (в диапазоне 25—60 мкм) демонстрирует распределение теплых частиц межзвездной пыли. Оптическое изображение (вверху) более запутанное, поскольку отдаленные части Галактики скрыты толстыми пылевыми облаками, которые поглощают свет звезд. Некоторые из облаков присутствуют на фотографии в виде темных пятен на ярком фоне.

зоне они излучают в 100 раз больше энергии, чем в видимом.

От взрыва сверхновой звезды 1987 г. в соседней галактике Большое Магелланово Облако впервые был зарегистрирован поток нейтрино. Это улучшило наши представления о механизме смерти звезд и формировании химических элементов, являющихся основой жизни на Земле.

При изучении радиопульсаров были открыты нейтронные звезды, совершающие около 1000 оборотов в секунду вокруг своей оси (миллисекундные пульсары). Они могут служить самыми стабильными часами во Вселенной, помочь в регистрации гравита-

ционных волн и изучении динамики звездных скоплений, членами которых являются некоторые из этих пульсаров.

Изучая колебания солнечной поверхности, астрономы развили технику гелиосейсмологии, дающую информацию о строении солнечных недр.

В атмосфере Марса был обнаружен дейтерий. Измерив содержание этого изотопа, астрономы определили, сколько воды в прошлом потерял Марс.

По наблюдениям спутника Плутона — Харона были измерены масса и радиус этой уникальной «двойной планеты». К удивлению астрономов, оказалось, что у маленького холодного Плутона есть атмосфера.

И это лишь некоторые результаты, полученные за прошедшее десятилетие традиционными астрономическими методами без учета тех удивительных открытий, к которым привели межпланетные полеты автоматических космических аппаратов.

ПРОГРАММА НА БУДУЩЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ

Итак, какими же ключевыми проблемами хотят заняться американские астрономы в ближайшие 10 лет? Вот они.

Существуют ли планеты у ближайших звезд?

Какие процессы инициируют формирование звезд?

Как образуются и распространяются по Галактике биологически важные химические элементы, такие как углерод, кислород?

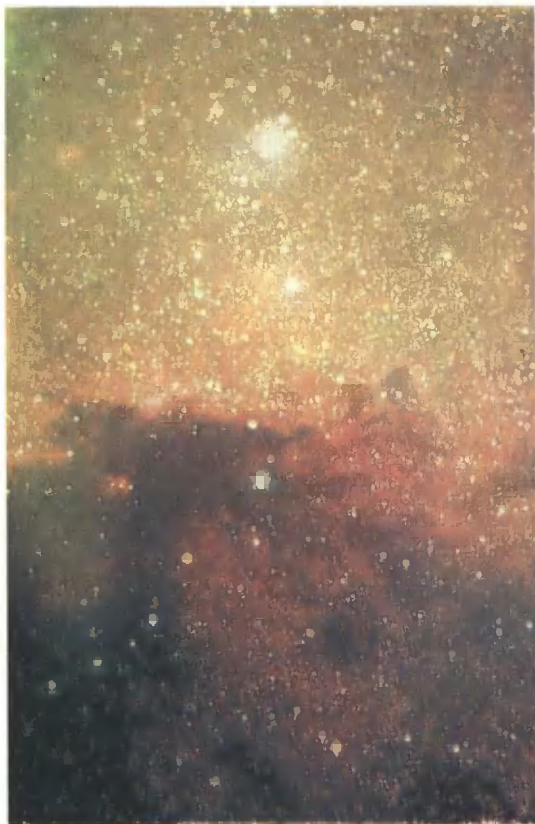
Где можно обнаружить черные дыры, и являются ли они источником энергии активных галактик и квазаров?

Где и когда сформировались галактики?

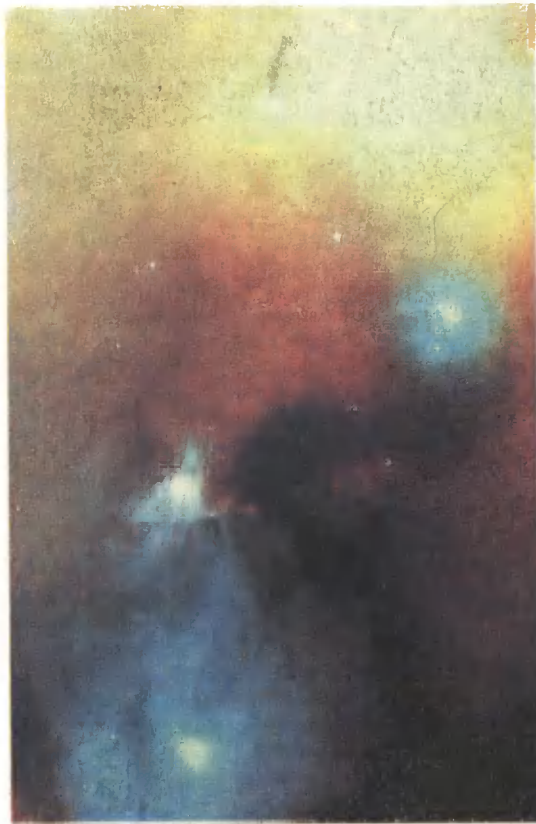
Будет ли Вселенная расширяться всегда или ее расширение сменится коллапсом?

Ученые надеются, что ближайшее десятилетие даст ответы на большинство из этих фундаментальных вопросов. Но лишь при условии, что будет правильно выработана система приоритетов, соблюден баланс в финансировании космических и наземных проектов, умело привлечены в астрономию общественные фонды и молодые таланты.

Обратим внимание на первый пункт этой программы — поиск планет за пределами Солнечной системы. Для астрономов это большая проблема. Каждый ученый знает, как трудно понять эволюцию единичного объекта и как облегчается эта задача, если есть возможность исследовать группу подобных объектов разного возраста, суще-



Газопылевой комплекс в созвездии Жертвенника на небе Южного полушария. Молодое звездное скопление NGC 6193 содержит много горячих звезд (голубые точки), ультрафиолетовое излучение которых ионизировало окружающий межзвездный газ и заставило его ярко светиться. В соседнюю, холодную, часть облака можно заглянуть только с помощью инфракрасных телескопов. Фото Европейской Южной обсерватории (Чили).



Облако межзвездного газа в созвездии Змееносца. В нем хорошо видны яркие, недавно сформировавшиеся из этого газа звезды. Цветное изображение получено с помощью новых фотоматериалов. Фото Европейской Южной обсерватории (Чили).

ствующих в разных условиях. Именно так биологи восстановили процесс эволюции жизни, а астрономы — эволюции звезд. Но пример планетной системы у нас лишь один — наша Солнечная система. Поэтому многие вопросы ее генезиса остаются до сих пор без ответа, а некоторые — даже без четкой постановки. Сейчас астрономы уверены, что обнаружение иных планетных систем произойдет в ближайшие годы. Это уже запланировано².

Наиболее важным моментом программы развития американской астрономии является стратегия создания наземных оптических инструментов. В борьбе за слабый свет

далеких звезд и галактик важнейшей характеристикой телескопа является площадь его главного зеркала, а с точки зрения национальной науки — суммарная площадь зеркал крупных национальных телескопов. Долгие годы американцы держали в своих руках «контрольный пакет акций» в этой области, поскольку суммарная площадь зеркал их крупных телескопов составляла более 50 % от общемировой³. Однако в 1976 г. был построен советский гигант с диаметром зеркала 6 м и несколько европейских 3,5- и 4-метровых телескопов, что снизило долю американской светоприемной площади до 46 %. В 1980 г. американцы построили

² См.: TOPS: Toward Other Planetary Systems. A report by the Solar system exploration division. NASA. 1992.

³ Кутырев А. С. Большие оптические телескопы // Природа. 1992. № 9. С. 58—66.

многозеркальный телескоп, эквивалентный по площади одному 4,4-метровому инструменту, и тем самым вернули себе лидерство (52 %). Однако европейские астрономы методично вводили в строй инструменты 4-метрового класса, и к 1989 г. американцы оказались в явном минимуме (43 %). Но впереди у них «большой рывок»: в 1991 г. начал функционировать телескоп-«монстр» с составным 10-метровым зеркалом в ближайшие 4 года появятся 3,5-, 6,5- и 8-метровые телескопы, а чуть позже — еще один 10-метровый гигант. В следующие тысячелетие американцы намерены уверенно войти лидерами наземной оптической астрономии, контролируя 60—70 % светоприемной площади всего мира. На втором месте будет европейская астрономия, на третьем — японская...

ПОТРЕБНОСТИ АСТРОНОМИИ

Важнейшие рекомендации комитета Бакола касаются сооружения новых астрономических инструментов. Эта программа требует 3 млрд. долл. на 10 лет. Половину из этих средств должны поглотить четыре крупных проекта: космический ИК-телескоп, наземный ИК-телескоп с 8-метровым зеркалом, установленный на вершине 4-километрового вулкана Мауна-Кеа на Гавайях, многоантенная система синтеза изображений в миллиметровом диапазоне, а также 8-метровый телескоп в Южном полушарии. Вторая половина этой суммы распределится между программами умеренной стоимости, среди которых:

стратосферная ИК-обсерватория на базе огромного лайнера «Боинг-747» с 2,5-метровым телескопом на борту;

большой солнечный телескоп на Канарских о-вах с зеркалом 2,4 м и системой адаптивной оптики для получения изображений дифракционного качества;

система черенковских телескопов для регистрации космических лучей высокой энергии на Земле;

космический интерферометр, способный различать планеты типа Юпитера вблизи сотен окружающих Солнце звезд;

наземные оптические и ИК-интерферометры;

системы адаптивной оптики;

несколько 4-метровых телескопов, которые в 90-х годах будут основой «рабочей лошадкой» астрономов, и др.

Инструментальная программа американской астрономии предполагает прежде всего количественное развитие хорошо за-

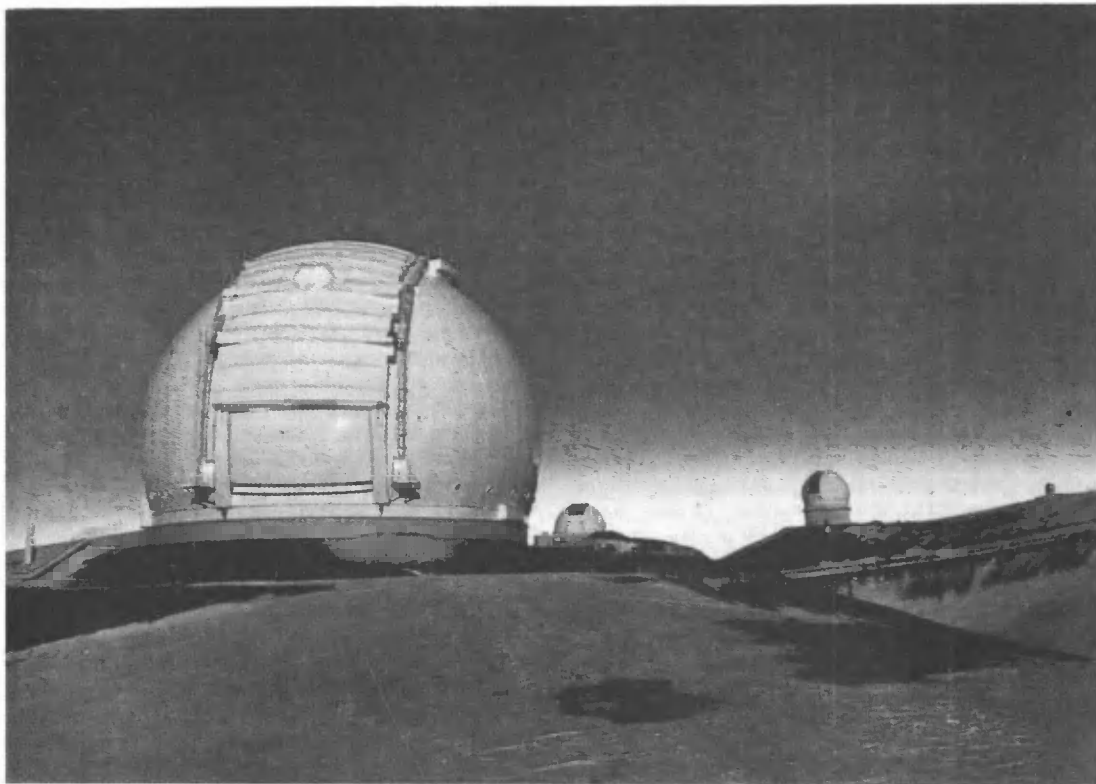
рекомендовавших себя приборов: космический ИК-телескоп будет иметь зеркало диаметром 0,9 м с более чем 100 тыс. детекторов в его фокальной плоскости, тогда как предыдущий аппарат такого же типа («ИРАС») имел всего 62 детектора. От одиночных 8-метровых антенн для наблюдения миллиметрового радиоизлучения астрономы переходят к системам из 40 таких же передвижных антенн, способных синтезировать двумерное радиоизображение. При базе в 3 км эта система позволит на волне 1 мм достичь углового разрешения в 0,07" и детально исследовать процесс формирования звезд в газовых облаках.

Самолеты-обсерватории доказали свою высокую эффективность: летающая ИК-обсерватория им. Койпера на самолете С-141 с 0,9-метровым телескопом на борту, по существу, открыла эру инфракрасной астрономии. По собранным за 15 лет ее работы материалам опубликовано 700 статей и защищено 40 докторских диссертаций. Следующий проект в этой области (на самолете «Боинг-747») лишь увеличивает размер телескопа, высоту и длительность полета.

В области исследований Солнца предполагается наладить международную службу наблюдений и перейти к непрерывному мониторингу солнечной поверхности: методы гелиосейсмологии дают сейчас более интересные данные о солнечных недрах, чем нейтринная астрономия, на которую возлагались большие надежды. Правда, нейтринные телескопы дали неожиданно интересный результат в 1987 г., когда в Большом Магеллановом Облаке взорвалась сверхновая звезда. Поэтому рекомендовано создать специальную службу сверхновых.

Наименее апробированными являются оптические и ИК-интерферометры с большими базами — до 1 км. Космический интерферометр должен измерять положение звезд с точностью до $3 \cdot 10^{-6}$ угловой секунды. Это станет гигантским шагом в определении расстояний до звезд и в поиске их маломассивных невидимых компаньонов, например планет.

В области теоретической и вычислительной астрономии предполагается усиленное развитие методов и средств анализа и интерпретации наблюдательных данных, чтобы каждый квант, пришедший из глубин космоса, передал нам всю имеющуюся в нем информацию о Вселенной. Рекомендовано все крупные астрономические компьютеры связать в единую сеть: оперативный обмен данными — важное условие успешной работы астрономов, ведь небо — на всех одно.



Крупнейший в мире телескоп Кека на горе Мауна-Кеа (Гавайские о-ва) с составным зеркалом диаметром 10 м.

Интересным направлением космической астрономии должно стать создание обсерватории на Луне. Отсутствие на ней атмосферы, малая сила тяжести, твердая поверхность и медленное вращение делают Луну идеальным местом для астрономических наблюдений. Специалистов по ИК-астрономии привлекают на Луне низкие ночные температуры: без дополнительных затрат приборы будут остывать до 70 К и ниже. Радиоастрономы довольны отсутствием над Луной ионосферы и готовы использовать ее кратеры для сооружения своих ажурных антенн. Правда, обжегшись на Космическом телескопе им. Хаббла, американцы не намерены прищипоривать лунную программу. Они рекомендуют систематически прорабатывать варианты, не вкладывая особенно больших средств, экспериментировать с новыми автоматическими приборами так, чтобы в ходе одного из первых полетов на следующем этапе ис-

следований Луны — вероятно, лишь в первой декаде XXI в. — установить там 1-метровый телескоп и начать исследование лунного астроклимата. Если он окажется хорошим, то Луна в первую очередь станет идеальным местом для размещения интерферометров, которым требуется надежный фундамент.

ПОЛЬЗА ОТ АСТРОНОМИИ

Сами астрономы испытывают радость от своих занятий, а какова от них польза обществу? Не унижаясь до меркантильности, авторы обсуждаемой книги на первый план выносят пользу духовную: астрономия демонстрирует человеку его место во Вселенной. Она, как наиболее романтическая из точных дисциплин, возбуждает у молодого поколения интерес к науке и технике.

Многие науки используют достижения астрономии. Геофизики измеряют дрейф материков (1—3 см/год) по данным межконтинентальных радиоинтерферометров. Геологи проникают в загадки тектоники, сравнивая вулканическую деятельность Земли, Венеры, Марса, Ио и Тритона. Физика высоких энергий получила важные результаты от нейтринной астрономии после

взрыва сверхновой 1987 г. Новые знания о космической химии помогают лучше понять природу жизни на Земле. А сравнительный анализ атмосфер планет, подобных Земле, помогает определить границы устойчивости земной экосистемы и предвидеть будущее нашей биосферы. В конце концов, непрерывное расширение астрономии пространствами и временными границами познания части Вселенной дает человечеству чувство уверенности и собственной значимости.

Разумеется, астрономия предоставляет обществу и некоторые материальные блага. Например, техника регистрации слабых рентгеновских источников используется в медицинской рентгенологии и при досмотре багажа в аэропортах. А радиоастрономические алгоритмы восстановления изображений оказались весьма полезными в медицинской томографии. Микроволновые детекторы нашли применение в диагностике рака легких. Высококочувствительные и мелкозернистые астрономические фотозульсии сейчас используются в любительской и профессиональной фотографии. Радиоастрономическая техника нашла применение в спутниковой связи. Довольно широко достижения астрономии используются и в области обороны: методы регистрации ракет и спутников, точная ориентация боеголовок, адаптивная оптика для спутников-шпионов, контроль за ядерными взрывами и наличием ядерных реакторов на борту спутников — вот далеко не полный их перечень.

ПРОФЕССИЯ — АСТРОНОМ

Не знаю, как у американцев, но в реестре профессий нашего государства профессия астронома не значится. Хотя, согласитесь, у нее есть своя специфика. Ну, например, работа в ночное время в условиях высокогорья: на обсерваториях, расположенных выше 4000 м, некоторые сотрудники вынуждены использовать кислородные маски. А сидеть неподвижно долгие зимними ночами у окуляра телескопа, управляя его работой голыми руками (в рукавицах не чувствуешь кнопок) — поверьте, это не самое веселое занятие. Работая с большим телескопом, астроном порой оказывается на высоте 30—40 м от пола в неосвещенной башне. За прошедшее десятилетие были тяжелые травмы, были и смертельные случаи.

Итак, каков же статус профессии астронома в США? Вот краткий демографический обзор. В Американском астрономическом обществе (ААО) в конце 1990 г. было 5100 членов. Если не принимать в расчет

иностранцев, то остается 4200 американских астрономов. Это означает, что с 1980 г. число астрономов в США выросло на 42 %. Причем в последние годы скорость роста увеличилась. Анализ публикаций показывает, что приблизительно 2800 человек, или две трети от полного числа астрономов, активно участвуют в научной работе; остальные преподают или занимают административные посты. Каждый год по астрономии и астрофизике защищается в среднем 125 докторских диссертаций. Однако ежегодно в ААО вступают 250 новых членов, что указывает на большой интерес ученых к астрономии, в которую они мигрируют из других областей науки.

Астрономия — наука сравнительно молодых людей: сейчас возраст половины американских астрономов от 35 до 50 лет, а средний (медианный) возраст астронома — 42 года. За последнее десятилетие доля женщин в астрономии возросла в 1,5 раза — с 8 до 12 %. А среди нынешних студентов-астрономов 20 % девушек, значит, эта тенденция будет сохраняться. Этнический состав американских астрономов следующий: 93 % членов ААО относят себя к белым, 4 % — к азиатам, 1 % — к латиноамериканцам и менее чем 0,5 % — к неграм. Такое соотношение типично для американской науки.

Период бурного роста астрономии пришелся на конец 60-х, когда открывалось много новых вакансий. Затем наступило определенное насыщение, и за последние 10 лет число новых мест для астрономов было умеренным. В основном они возникали в промышленности и в национальных исследовательских центрах (оборонной промышленности). Около половины членов ААО работают сейчас в чисто научных учреждениях, включая университеты. Из них 75 % имеют постоянные ставки, финансируемые штатом или спонсорами. А 17 % исследователей работают на временных ставках, зависящих от внешнего финансирования.

В 80-х годах доля докторов астрономии, работающих в университетах, существенно уменьшилась, хотя число ученых, находящихся на федеральном бюджете, возросло. Десять лет назад 40% выпускников 1970 г. работали в университетах и 30 % — на более или менее постоянных должностях; в 1989 г. только 32 % выпускников 1980 г. работали в университетах и 22 % — на постоянных должностях; в промышленности работали 1 % выпускников 1970 г. и 12 % выпускников 1980 г.; в национальных лабораториях — соответственно 11 и 15 %.

Не меняется лишь доля астрономов, решивших изменить свою профессию: за 10 лет после защиты диссертации из космической науки уходит 30 % докторов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ АСТРОНОМИИ

Большая часть астрономов США финансируется через национальные обсерватории и через систему индивидуальных грантов. Кстати, размер гранта составляет обычно 50—80 тыс. долл., а среднегодовая (медианная) зарплата для всех членов ААО была в 1990 г. 57 420 долл.

Наземную астрономию поддерживает в основном Национальный научный фонд США (ННФ), а космическую — НАСА. Исторически сложилось, что наземная оптическая астрономия получает существенную поддержку из бюджета штатов и из личных средств граждан: замечательные примеры филантропии — 5-метровый телескоп им. Хэйла и 10-метровый телескоп Кека. Вообще, большие телескопы очень популярны и часто финансируются частными лицами. Радиоастрономия сильнее зависит от федерального бюджета, а космическая астрономия финансируется из него полностью.

Если взять, к примеру, ведущий астрофизический журнал США «*Astrophysical Journal*», в 40 % статей выражается благодарность за финансовую поддержку НАСА, в 40 % — ННФ и в 10 % — другим федеральным организациям. Последние годы НАСА вкладывает в астрономию ежегодно около 500 млн. долл. (это 4 % бюджета НАСА), ННФ — около 100 млн. долл. (это примерно 6 % его бюджета) и организации штатов совместно с филантропами — около 200 млн. долл.

ОБРАЗОВАНИЕ И АСТРОНОМИЯ

Американские ученые обеспокоены тем, что в их колледжах и университетах слишком мало внимания уделяется инженерным, математическим и естественнонаучным дисциплинам. Отчасти это связано с тем, что учащиеся поступают в вузы с низким уровнем научных знаний. В итоге в стране недостаточно грамотных ученых и инженеров, и она вынуждена восполнять этот дефицит за счет иностранных специалистов. Такое положение вещей достаточно рискованно, если пытаться сохранить лидирующие позиции в мировой науке и технике.

Анализируя причины недостаточного

интереса к точным наукам, комиссия Бакола указывает, что телевидение и пресса в основном рекламируют профессии бизнесмена, юриста и врача, оставляя в тени ученых и инженеров. Один из способов ликвидировать этот перекося — пропагандировать астрономию, которая обладает особой привлекательностью для молодежи и стимулирует ее интерес к точным наукам. Что же предлагается сделать для улучшения школьного астрономического образования? Вот некоторые из предложений комиссии.

Национальному научному фонду рекомендовано одну или несколько крупных обсерваторий превратить в центры астрономического образования и привлечь профессиональных исследователей к педагогическому процессу. В этих центрах должны создаваться учебники и популярные книги по астрономии, накапливаться и обобщаться методический материал, проводиться семинары и рабочие группы для учителей и особо увлеченных наукой учащихся. При этом как те, так и другие должны быть не просто слушателями, а равноправными участниками научной работы. Можно заметить, что в некоторых советских астрономических центрах (например, в Москве и Одессе) нечто подобное уже давно практикуется.

Рекомендовано расширить сеть платных курсов для учителей-естественников и учащихся, проводимых преимущественно в летнее время в университетах и научно-технических центрах. Примером могут служить центры подготовки космонавтов НАСА, где с помощью настоящих тренажеров для школьников и учителей устраиваются «космические путешествия» продолжительностью до пяти суток. Это обходится «путешественникам» приблизительно по 100 долл. в сутки с человека, т. е. вполне приемлемо в качестве приза за отличную работу в учебном году. Такие курсы особенно полезны для учителей, ибо дают им опыт прямого контакта с настоящей наукой и космической техникой, знакомят их с учеными и ведущими специалистами аэрокосмического образования. Это снимает у многих учителей «комплекс провинциала» и существенно усиливает творческий подход к своему предмету.

ННФ рекомендовано учредить программу национальных астрономических стипендий, которая позволила бы каждому штату выдвигать наиболее успешному старшекласснику стипендиатом по астрономии. На время летних каникул эти школьники должны стать полноправными сотрудниками ведущих обсерваторий и астрономи-



Летающая обсерватория им. Койпера с инфракрасным телескопом на борту.

ческих институтов, чтобы почувствовать вкус настоящей научной работы.

Американскому астрономическому обществу рекомендовано учредить ежегодную премию за наибольший вклад в области школьного естественно-научного образования.

Комиссия Бакола обратилась также лично ко всем астрономам с просьбой проявить активность в популяризации науки, прийти в ближайшие школы и пригласить учеников на экскурсию в свои лаборатории. Желательно, чтобы руководство научных учреждений поддержало эту инициативу.

Убежден, что некоторые из этих предложений являются вполне своевременными и для отечественной системы просвещения.

ПУТЬ КО ВСЕОБЩЕЙ НАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ

Американское научное сообщество видит в астрономии один из самых действенных путей повышения научной грамотности населения. Астрономия наглядна, доступна и романтична. С одной стороны, в ней много архаизмов, легенд, ночных тайн; есть в ней даже что-то мистическое. С другой стороны, это точная наука, использующая богатый математический аппарат и компьютеры, охватывающая практически весь диапазон современной физики (впрочем, этот диапазон именно потому так широк, что опирается на астрономические данные).

Карьера многих известных естествоиспытателей начиналась с увлечения астро-

номией. Понимая стимулирующую роль «небесной науки», американские преподаватели используют ее элементы в программе начальной и средней школы, в курсах географии, физики, химии и математики. В Центре астрофизики разработан проект STAR (от англ. Science Through its Astronomical Roots — к науке через ее астрономические истоки), в соответствии с которым астрономический материал преподносится старшеклассникам на уроках физики и химии. Существует «Проект 2061», цель которого гарантировать научную грамотность всех выпускников школы к 2061 г., когда вернется комета Галлея. Астрономия находится в фокусе многих успешных образовательных курсов как для школьников, так и для педагогов.

В 1988 г. в США курс астрономии прослушали 1,2 млн. студентов-выпускников колледжей и университетов, среди которых оказалось немало гуманитариев. Разумеется, для большинства из них это было лишь введение в астрономию или некоторый интегральный курс, завершающий изучение естественных наук. Однако в нашей стране астрономию читают лишь студентам этой конкретной специальности — будущим ученым и учителям. Их всего около 10 тыс. человек. Ощутимое различие!

В западных странах астрономия является привлекательным объектом для средств массовой информации. Созданный К. Саганом телесериал «Космос» стал самым успешным экспериментом в области популяризации естественных наук: он собрал 400 млн. телезрителей в 60 странах. А опуб-

ликованная в 1983 г. по мотивам этого фильма книга является самой читаемой научно-популярной книгой в истории англоязычной литературы. Почти столь же значительный успех сопутствовал в 1990 г. программе из 30 получасовых фильмов «Project Universe» (Проект «Вселенная»). Сотни радиостанций транслируют ежедневные астрономические передачи, подготовленные в Техасском университете; за прошедшее десятилетие в адрес этой передачи пришло около полумиллиона писем от слушателей.

Статистика указывает, что среди выпускников школ, прослушавших курс астрономии, большинство избирает себе в колледжах и университетах естественно-научные и инженерные специальности. Подготовку в области астрономии и космических наук дают сейчас около 70 колледжей и университетов США. Половина выпускников, получивших такую подготовку, находит работу в фундаментальной науке (физике, астрономии, геологии), половина же распределяется на промышленные предприятия. Среди аспирантов, защитившихся по астрономии, около 60 % находят место для исследовательской или преподавательской работы, а остальные вынуждены уходить в иные области науки, в фирмы, управленческие структуры и на производство. Кстати, значительная часть из них находит себе исследовательскую работу по оборонной тематике в национальных лабораториях Лос-Аламоса и Ливермора, добиваясь там заметных успехов.

Хотя астрономы составляют лишь 0,5 % от числа ученых США, интерес к этой науке в обществе очень высок: ведущие научно-популярные журналы уделяют астрономии 7 % своего объема, среди нехудожественной литературы 1988 г. в число 10 бестселлеров вошли три книги по астроно-

мии, а число подписчиков на журналы «Sky and Telescope» и «Astronomy» достигает 250 тыс. Ведущие обсерватории США в год принимают по 100 тыс. посетителей каждая, а Гриффитскую обсерваторию и ее планетарий вблизи Лос-Анджелеса в 1988 г. посетили 1,7 млн. человек. Это ли не общественное признание науки?

Появление столь любопытной книги, как «Десятилетие открытий в астрономии и астрофизике», доказывает, что американские специалисты по астрономии и родственным ей космическим дисциплинам серьезно думают о будущем своей профессии. Они планируют это будущее, причем не келейно, деля средства между сильными академиками, а вполне демократическим путем, советуясь со всем научным сообществом, предлагая ему наиболее перспективную программу развития, но отнюдь не навязывая ее.

В наши дни результаты астрономии и, тем более, ее открытия привлекают миллионы любознательных, стимулируют всеобщий интерес к науке. Поэтому прав председатель Национального исследовательского совета США Ф. Пресс, написавший в предисловии к этой книге: «Судьба астрономии у любого народа символизирует его отношение ко всей фундаментальной науке». Судя по всему, за будущее американской астрономии можно быть спокойным. А вот судьба отечественной астрономии, как и других фундаментальных наук, не может не тревожить. Будем надеяться, что работа американских коллег окажет нам некоторую помощь в прогнозировании научных исследований и в поиске их общественной поддержки.

Начнем с малого

В. А. Синельников,
кандидат технических наук
Москва

Все меньше окружающей природы,
Все больше окружающей среды.
Р. Рождественский

К СОЖАЛЕНИЮ, мы привыкли ко многим порокам нашего времени и не замечаем, как исчезает с наших улиц зелень, как грязны наши реки, как тяжело дышится, когда мы выходим на «свежий» воздух. Тяжелые последствия этого — хронические заболевания. Врачи пытаются бороться со следствием, а с причинами бороться как будто и некому.

В городскую среду продолжают поступать всевозможные токсичные загрязнения от промышленных предприятий; транспорт, легальные и нелегальные свалки вносят свою лепту. Тем более удивительны результаты опроса москвичей, который показал: 43 % жителей столицы считают экологическую обстановку в городе удовлетворительной.

Стало уже традиционным ссылаться на нехватку средств при обсуждении экологических (да и других) проблем. Думается, однако, что экологические бедствия, нарастающие год от года, связаны в первую очередь с нарушением законов природопользования в угоду сиюминутным интересам производства и с традиционной российской бесшабашностью. Петр I повелел наказывать розгами своих солдат за слив в ручьи и реки грязной воды после мытья полов. В Петрозаводске при строительстве чугунолитейных заводов неочищенные стоки навсегда лишили р. Лососинку лосося.

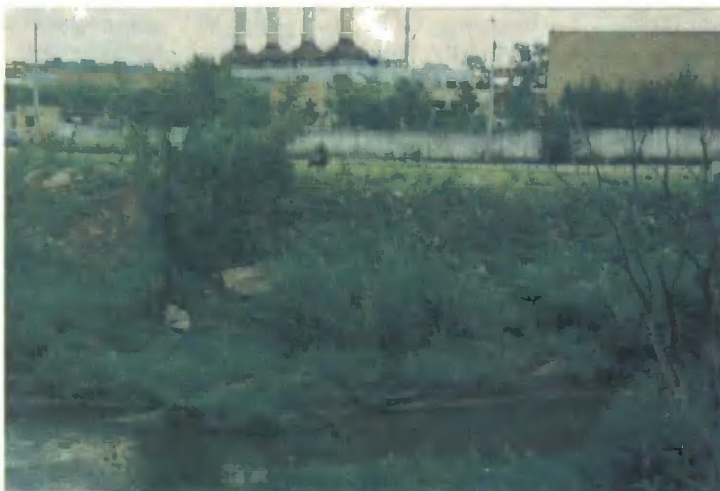
Говорят, окружающая среда мстит за нерадивое отно-



Один из заброшенных участков реки: плиты, обломки железобетона, сухостой.

Временная переправа для техники размыта, заодно размыт и левый берег реки.

Фото В. Е. Карпина



шение к себе. Ничего подобного. Просто мы сами мазохистски губим свое здоровье, оставаясь наедине с теми зрзацами, которыми заменили живописную природу.

Не секрет, что любое природоохранное мероприятие у нас в стране чудовищно запаздывает или не реализуется вовсе. Скупой платит дважды — экономия на экологическом обустройстве сегодня потребует впоследствии вложений, несоизмеримых с первоначальными.

Несомненно, проблем в

стране предостаточно. Многие из них требуют новой законодательной базы, длительной подготовки и огромных средств. Но кое-что можно сделать сейчас. И есть тому примеры. Депутат Моссовета А. В. Бабушкин взялся за приведение в порядок одного из красивейших в прошлом участков р. Лихоборки на территории муниципального округа «Отрадное» Москвы.

Лихоборка вытекает из болот Мытищинского района, ее протяженность около 17 км,

а по водности она уступает лишь р. Москве (расход воды в устье Лихоборки — 5,65 м³ в сек.). Впервые название реки упоминается в документах XVI в. Известно, что до XVIII в. овраг около деревни Лихоборы, называвшийся тогда Банями, населяли лихие разбойники. Конечно, с тех времен Лихоборка очень изменилась: на месте заводи, образовавшей известные на всю округу Богоявленские пруды с плотиной и мельницей, осталось лишь болото. А ведь совсем недавно здесь любила отдыхать замечательная русская актриса М. Н. Ермолова.

Теперь иные разбойники нашли выход к реке. Одни сбрасывают в нее с самосвалов строительный мусор и отходы производства. Другие, экономя на очистке промышленных и поверхностных вод, сливают через ливнестоки всевозможные промышленные нечистоты. Воистину — концы в воду.

С каждым годом Лихоборка в своей беззащитности становится все более опасной для окружающих: предельно допустимые концентрации по нефтепродуктам, взвешенным веществам и бактериальным загрязнениям уже превышены в пять-семь раз. Да и пойма реки не радует глаз: «лысые» участки берегов, сухостой, ржавые, грязные трубопроводы над зеркалом реки, горы мусора и вырытой земли, склады промышленных материалов и повсеместное вкрапление в землю металлолома и железобетонных обломков. А, главное, нет положенной водоохранной (санитарной) зоны вокруг реки. Эта зона постоянно «съедается» расширяющимися и нарождающимися предприятиями. В километре от Алтуфьевского шоссе Лихоборка скрывается в подземном коллекторе. Старожилы рассказывают, что этот застроенный теперь участок реки был когда-то самым живописным на всем ее протяжении.

Создав и возглавив комитет самоуправления «Лихоборье», Бабушкин подобрал единомышленников, которые и решили начать с малого — озеленить и благоустроить полторакилометровый участок реки. Этот участок выбран неспроста: во-первых, нет побли-



Мини-зоопарк на берегу реки.

Облагороженный участок реки. Пейзаж, которым можно любоваться.



зости никаких природных мест отдыха, а во-вторых, водоисточники возле запущенных речных стариц при надлежащем обустройстве могут напоить жителей микрорайона Отрадное чистой водой.

К сожалению, долгое время усилия комитета «Лихоборье» не поддерживались. Много времени потеряно. Но вот наконец активность возоблудала над безучастностью «заинтересованных» организаций. Решено создать гидропарк, на территории которого река, зелень и родники стали бы лучшим подарком для местных жителей.

Комитету начали помогать муниципальный округ «Отрадное», Департамент инженерного обеспечения при прави-

тельстве Москвы, «Мосводосток» и ряд других государственных организаций. Не остались в стороне и расположенные на реке частные фирмы. Малое предприятие «Прогресс» оградило «мусоросвалочные» подъезды к реке, товарищество с ограниченной ответственностью «Вертикаль» и автобаза «Луч» выделили автокран и самосвал для уборки мусора и промтоходов, а гостиница «Восход» и техникум для тех же целей предоставили рабочую силу. «Вторчермет» вывез около 20 т. металлолома. Помогают и другие организации и частные лица.

Пойма реки стала преобращаться. От сухостоя и твердых отходов очищено русло реки, на месте свалок зазелене-

ла трава, начал работать мини-зоопарк.

Комитет «Лихоборье» ждет единомышленников, готовых помочь в создании на реке новых экологически чистых уголков. Их вклад будет виден воочию.

Хочется также надеяться, что природоохранные органы не останутся в стороне и отреагируют на инициативу комитета «Лихоборье» не стереотипным вопросом: «на каком основании?», а действительной помощью.

Термин «экология» образовался от греческого «экос», т. е. дом. Так давайте приводить свой дом в порядок, начиная с малого.

НОВОСТИ НАУКИ

Охрана природы. География

Хребет Каракорум — район Мирового наследия

Международный союз по охране природы (МСОП) предложил объявить районом Мирового наследия горный хребет центральных Каракорумов, проходящий по территории, контролируемой Пакистаном. Эта необычайно интересная горная область все более привлекает туристов и альпинистов.

МСОП участвует в разработке Международной конвенции по защите Мирового культурного и природного наследия (International Convention Concerning Protection of the World Cultural and Natural Heritage) и сотрудничает с правительствами ряда стран, на территории которых расположены природные объекты, которые могут претендовать на включение в список памятников Мирового наследия. Поэтому МСОП обратился к правительству Пакистана с просьбой предпринять шаги к созданию национального парка в предгорьях второй (после Джомолунгмы) высочайшей вершины мира — Годуин-Остен

(8611 м), что и позволит придать парку статус Мирового наследия. Центральные Каракорумы представляют исключительную ценность как природный объект: здесь сконцентрированы 60 горных пиков, превышающих 7 тыс. м, а также огромное количество ледников. Кроме того, этот район представляет значительный научный интерес и как объект активной геологической эволюции.

Несмотря на ущерб, нанесенный браконьерами крупным млекопитающим в горных долинах, здесь еще значительны популяции уриала — горного барана, мархура — винторогого козла, снежного барса.

Величественные горные пейзажи привлекают все возрастающий поток туристов. Они оставляют мусор, загрязняют воды, используют деревья для разведения костров, вывозят изделия местных ремесленников. Интенсивность движения туристов только по долине Хаш, ведущей к вершине Гондоро, возросла за последние три года втрое. По мнению Дж. Торселла (J. Thorsell), старшего советника МСОП, центральные Каракорумы, даже несмотря на все эти обстоятельства, все еще

остаются в основном девственным малонаселенным районом. International Wildlife. 1993. V. 23. N 1. P. 28 (США).

Экология

Бегемот или титановая руда!

Около трех лет в Южно-Африканской Республике продолжается ожесточенный спор о судьбе весьма важного в экологическом отношении клочка земли между побережьем Индийского океана и оз. Сент-Люсия в провинции Зулуленд. Окрестности озера богаты флорой и фауной. На лугах, пастбищах и покрытых лесом песчаных дюнах обитают дикие буйволы и черные носороги, в озере — крупнейшие в ЮАР популяции крокодилов и бегемотов. Здесь любят останавливаться для отдыха перелетные птицы, а черепахи выводят потомство. Более 25 видов животных, населяющих эту местность, нахо-

дятся на грани исчезновения и занесены в Красную книгу ЮАР.

Еще в 1966 г. специальная комиссия по охране природы рекомендовала правительству страны создать национальный парк в окрестностях оз. Сент-Люсия и провести восстановительные работы на бывшем испытательном полигоне. В 1971 г. Рамсарской конвенцией, принятой Международным союзом по охране природы, озеро и его окрестности были признаны важным экологически объектом.

Однако власти ЮАР под давлением промышленников вынуждены нарушать рекомендации международных комиссий по охране природы. Так, правительство не отклонило заявку известной горнодобывающей компании «Рио Тинто Зинк» на эксплуатацию залежей титановых руд. Компания получила лицензию на геологическую разведку 1400 га ценных территорий, протянувшихся вдоль восточного побережья оз. Сент-Люсия. Компания планирует создать в дюнах огромный пруд и разместить там гигантскую драгу, которая перерабатывала бы до 3 тыс. т песка в час. Продвигаясь со скоростью 2,5 км в год, она будет вести сепарацию тяжелых металлов, оставляя за собой отработанные песчаные породы.

Общественность ЮАР выступила в защиту Сент-Люсии. Была создана комиссия, которая установила, что эксплуатация этой территории приведет к исчезновению примерно 40 % видов живых организмов, на восстановление численности оставшихся уйдут десятилетия. Нарушение топографии местности и естественной гидрологической системы, сложившейся за 25 тыс. лет, может привести к непредсказуемым последствиям.

Горнодобывающая компания пообещала проводить работы с наименьшими экологическими нарушениями: транспортировку металла осуществлять через подземный трубопровод (это позволит отказаться от колесного транспорта, сильно нарушающего культурный слой почвы), на участках, где будет завершена добыча, посадить лес.

New Scientist. 1993. V. 137. N 1857. P. 9 (Великобритания)

Экологическая ситуация в Персидском заливе

Сотрудники Лаборатории по изучению морской природной среды Международного агентства по атомной энергии, возглавляемые С. Фаулером (S. Fowler; Монако), изучали состояние вод и биоты в Персидском заливе после окончания здесь боевых действий. Еще в конце 1992 г. они пришли к выводу, что воды уже стали чище, чем были до пожаров на нефтепромыслах, когда в результате поджогов в акваторию попали миллионы баррелей нефти и масса продуктов горения.

Специалисты по химии и физике моря объясняют этот факт высокими температурами этой тропической акватории и значительной динамичностью песчаных отмелей и берегов, что приводит к ускоренному «отмыванию» среды. Водоросли, считавшиеся особенно уязвимыми, хорошо перенесли нефтяное загрязнение. В тканях рыб количество нефтепродуктов через некоторое время пошло на убыль.

В первые месяцы после окончания войны концентрация оксичных веществ в поверхностном водном слое толщиной около 1 мм достигала высокого уровня; сейчас вода намного чище, хотя у побережья Саудовской Аравии все еще сохраняется немало крупных пятен с значительным загрязнением.

Научный эксперт Э. Прайс (A. Price; Уорвикский университет, Великобритания) не согласен с американскими учеными, которые утверждают, что от нефти здесь сильно пострадали коралловые рифы. По мнению Прайса, они всегда здесь выглядят неважно, ибо Персидский залив является для коралловых полипов крайней северной областью существования. С другой стороны, резкое падение улова съедобных моллюсков в водах у Бахрейнских о-вов он склонен отнести за счет последствий боевых действий.

В кувейтской акватории дела обстоят лучше, однако такой оптимизм не разделяют экологи из Ридингского университе-

та (Великобритания), возглавляемые К. Мэтьюзом (С. Matthews). Согласно проведенному ими обследованию, улов моллюсков у бахрейнских рыбаков составляет ныне лишь 1 % от довоенного; тысячи крачек забросили свои гнездовья, не находя для себя достаточного количества рыбы. Впрочем, причины этого спорны: орнитолог П. Сайменс (P. Symens) не исключает того, что необычные для региона холода нарушили привычные миграционные пути хамсы и других видов рыбы, служащих пищей для крачек.

Продолжающаяся дискуссия показывает, насколько слабо еще изучены сложные экологические связи морской, сухопутной и воздушной среды.

New Scientist. 1993. V. 137. N 1865. P. 10 (Великобритания).

Охрана природы.

В Австралии взят под охрану район палеонтологических раскопок

В 1992 г. наиболее крупный участок раскопок ископаемых животных площадью в 8550 га в районе Риверслейг, расположенном в засушливых северо-западных нагорьях штата Квинсленд, был включен как составная часть в национальный парк Лаун Хилл.

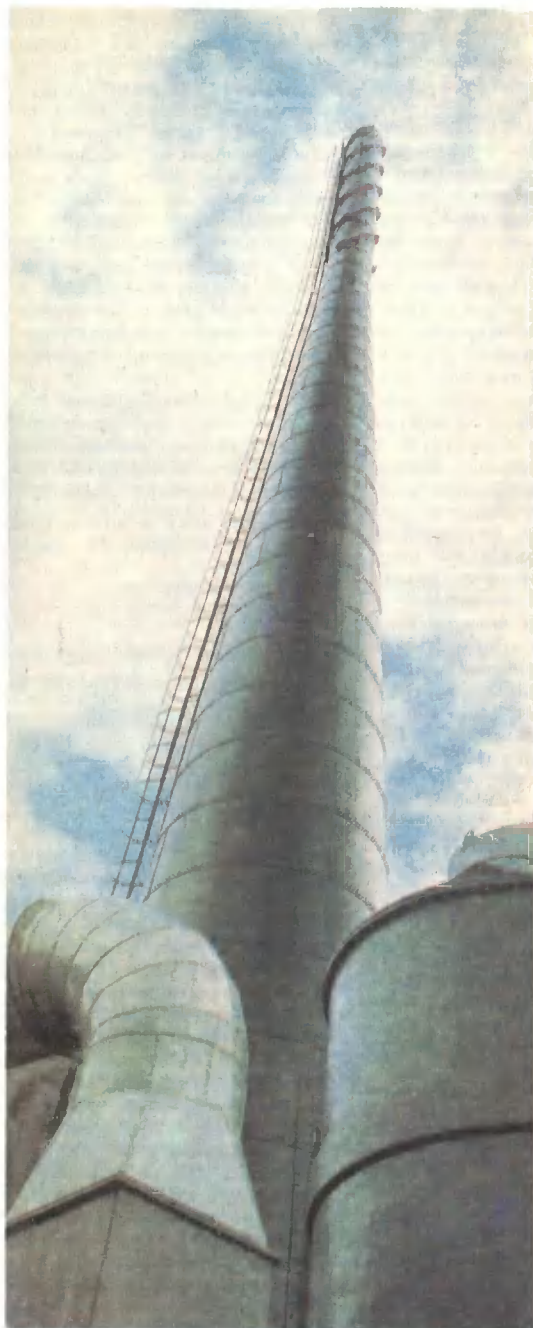
Перед палеонтологами в ходе раскопок предстал целый ископаемый «зверинец», необычный даже по австралийским стандартам: скелеты гигантских бескрылых птиц, кенгуру, сумчатых львов и множества других животных, обитавших здесь в густом тропическом лесу миллионы лет назад.

Открытие в Риверслейге по крайней мере 150 неизвестных ранее науке видов млекопитающих позволяет приступить к ревизии палеонтологической летописи Австралии на протяжении последних 25 млн. лет.

По мнению специалистов, новые находки помогут уточнить причины биологической уникальности и темпов эволюции животного мира Австралийского континента.

National Geographic. 1993. V. 183. N. 4. P. 134 (США).

ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ



В 60-70-е годы промышленное загрязнение окружающей среды стало соизмеримо по своим результатам с природными геохимическими процессами. Из заводских труб тянулись огромные шлейфы дыма, содержащего аэрозольные частицы хлора, хлорированных углеводородов, трехоксида серы и сернической кислоты, фосфорного ангидрида, фосфорной кислоты, хлористого водорода и множества других соединений. Не осознавая во время человечество планетарной опасности промышленного загрязнения природы, ей был бы нанесен необратимый урон.

Чтобы избавить окружающую среду от разрушающего действия ядовитых компонентов заводских газовых выбросов, было разработано множество разного рода фильтров и фильтрующих систем. Особенно широко применяются волокнистые фильтры.

Очистка аэрозольных газовых выбросов обычно осуществляется двумя способами. *Первый способ* — механическое отделение достаточно крупных частиц (от 10 до 100 мкм), которые удается устранить с помощью относительно дешевых и легко монтируемых фильтрующих элементов — демистеров. *Второй способ* основан на использовании фильтров с более высокой степенью абсорбции. Такие фильтры, изготовленные из водонепроницаемых фильтрующих материалов, позволяют очищать аэрозоли, размер частиц которых не превышает 1-2 мкм. Правда, в этом случае довольно сложно поддерживать в допустимых границах равновесие между эффективностью очистки и потерей давления.

С этими задачами хорошо справляются демистеры «Vescoil» и фильтры сухого типа «Vecofil» шотландской фирмы «Begg Cousland».

Демистеры «Vescoil»

Демистеры (от англ. mist — туман) — это разделители аэрозолей, изготовленные из металлических или пластмассовых моноволокон, сплетенных и гофрированных так, что образуются многослойные сети. Жидкость с растворенными в ней газами собирается в ячейках этой сети в виде капель, которые постепенно увеличиваются в размере и стекают.

Благодаря равномерному расположению ячеек по всей поверхности демистера потеря давления невелика — обычно не более 50 мм водного столба. Эффективность устранения крупных частиц (диаметром более 5 мкм) приближается к 100%. Пропускная способность таких демистеров достаточно высока.

Наибольший эффект демистеры «Vescoil» дают при очистке продуктов производства серной и фосфорной кислот, а также азотсодержащих соединений.



Begg Cousland

Ведущая фирма в области
охраны окружающей среды



Begg Cousland

Ведущая фирма в области
охраны окружающей среды

Коалессоры «Vescone»

Чтобы из мелких частиц аэрозоля получить более крупные, пригодные для отделения при помощи демистера, фирмой «Begg Cousland» разработаны коалессоры (от англ. coalesce - срастаться, объединяться) «Vescone». Именно коалессоры делают продукцию фирмы «Begg Cousland» принципиально отличной от продукции аналогичных фирм.

Фильтрующий материал коалессора состоит из моноволокна и штапельного волокна. При прохождении газа через сверхтонкую сеть коалессора размер капель аэрозоля увеличивается, и укрупненные капли вновь вовлекаются в газовый поток, вытекающий из коалессора. Отделяют более крупные капли с помощью демистера.

Применяя коалессор «Vescone» в комбинации с демистером «Vescoil», удается довести степень улавливания частиц размером 2-5 мкм до 98%. Поскольку коалессор обладает значительным свободным объемом, потеря давления при его использовании невелика.

Фильтры «Vesofil» сухого типа

Эти фильтры, точнее фильтрующие элементы, предназначены для окончательной очистки аэрозолей, размер частиц которых не превышает 2 мкм. Механизм действия фильтров сухого типа основан на ударах частиц диаметром 1-2 мкм и диффузии частиц наименьшего размера (с постепенным увеличением броуновского движения). При прохождении газового потока через фильтр самые мелкие частицы взаимодействуют с молекулами сопутствующих газов, вызывая их перемещение к поверхности и от поверхности волокон, из которых изготовлен фильтрующий материал. Фильтры состоят из миллионов волокон, и хотя эффективность каждого из них ничтожна, суммарный эффект очень высок.

Поскольку фильтры «Vesofil» изготовлены из непромокаемого материала — стекловолокна, то при прохождении аэрозольного потока через них, остаются сухими. Конструкция этих фильтров довольно оригинальна: фильтрующий материал смонтирован в виде двух вложенных один в другой концентрических цилиндров — сетей, сделанных из антикоррозионных материалов (расстояние между цилиндрами 5 см). Благодаря такой конструкции фильтрующие материалы удается заменять на месте, не возвращая фильтры производителю.

• • •

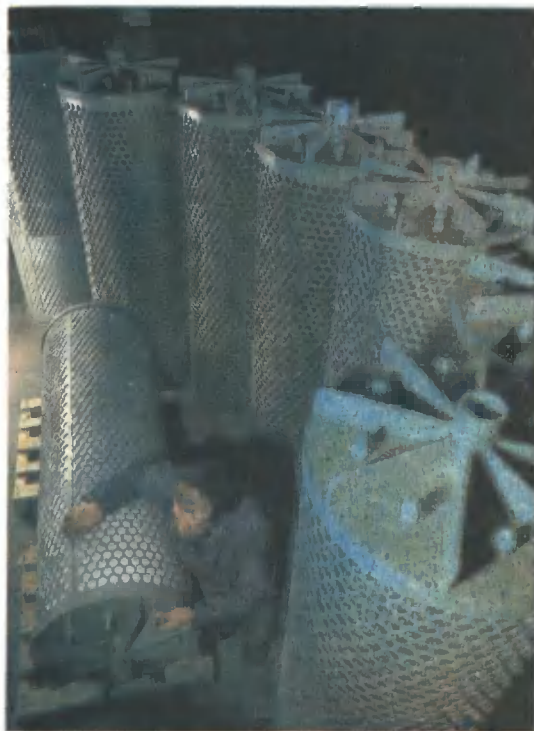
Фирма «Begg Cousland» основана в 1854 г. в Шотландии. В настоящее время она работает во многих странах мира, поставляя фильтры и фильтрующие системы. Узкая специализация фирмы на производстве волокнистых фильтров, предотвращающих промышленное загрязнение воздуха, позволяет ей вы-

держивать серьезную конкуренцию со стороны аналогичных фирм, занимающихся очисткой всех компонентов природной среды.

Фильтры фирмы «Begg Cousland» успешно очищают газовые выбросы, образующиеся при производстве нитрата аммония, серной и соляной кислот, резины, клеев, растворителей, виниловых покрытий на линолеуме, обоях.

В 1980 г. фирма «Begg Cousland» начала работать в СССР. За последнее время ею поставлены и установлены волокнистые фильтры для очистки газов, образующихся при производстве аммиачной селитры на новгородском ПО «Азот», а также карбамида на одесском Припортовом химическом заводе. Ведутся переговоры о поставке фильтров для очистки технологических и выхлопных газов сернокислотного производства на Уваровском химзаводе Белореченского ПО «Минудобрения». Кроме того, поставлены фильтры для сернокислотных линий Череповецкого АО «Амофос» и строящегося в Усть-Каменогорске свинцово-цинкового комбината. Часть работ на территории России и других стран СНГ ведет сестринская компания «TDR Consulting», которая специализируется главным образом на передаче технологий.

“TDR Consulting”: тел. (095) 135-45-73,
факс (095) 135-87-70.



Размышления естествоиспытателя

В. Е. Хаин



Виктор Ефимович Хаин, академик, главный научный сотрудник Института литосферы РАН, профессор кафедры динамической геологии МГУ. Председатель Комиссии по международным тектоническим картам. Специалист по общей и региональной геотектонике. Лауреат Государственной премии (1987 г.).

В этом году Виктору Ефимовичу исполняется 80 лет. Из них более 20 лет академик В. Е. Хаин не просто состоял, а активно работал в редакционной коллегии «Природы» и опубликовал в журнале целый ряд прекрасных статей. Редакция и редакционная коллегия присоединяют к горячим поздравлениям по случаю юбилея свою благодарность Виктору Ефимовичу и пожелание чаще встречаться на страницах нашего издания.

АВТОР этих строк в течение почти 30 лет был руководителем так называемого методологического семинара на геологическом факультете Московского университета. Сейчас, в эпоху переоценки всех прежних ценностей, опыт этой деятельности побуждает меня поразмышлять о принципиальной стороне дела, о соотношении естествознания и философии в наши дни, а заодно и об отношении их к мировоззрению, и религии в частности.

Мне представляется, что во взаимоотношениях философии (марксистской) и естествознания можно выделить три этапа.

Первый ознаменовался трудами Ф. Энгельса, собранными в книгу «Диалектика природы». Целью этих трудов было показать, что законы гегелевской диалектики, такие как переход количества в качество, единство противоположностей, отрицание отрицания, помогают познать развитие природы. Думается, что постановка задачи была правомерна и в общем виде цель вполне достигнута¹.

Второй этап связан с появлением работы В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». Настрой ее существенно отличается от настроения трудов Ф. Энгельса. В отличие от последнего, Ленин активно вмешивается в научную деятельность естествоиспытателей. Он ставит своей целью «поправить» современных ему физиков, которые, по его мнению, неправильно, в идеалистическом, а не ортодоксально-материалистическом смысле истолковали результаты своих новейших исследований. Как показал академик С. П. Новиков на одном из недавних общих собраний АН СССР, Ленин проявил в этой книге полную некомпетентность в рассматриваемых им физических проблемах.

Третий этап приходится уже на после-революционный период истории нашей страны. На этом этапе диалектический мате-

© Хаин В. Е. Размышления естествоиспытателя.

¹ Не все естествоиспытатели согласились бы с этим. См., например: Хейенорт Ж. ван. Ф. Энгельс и математика // Природа. 1991. № 8. С. 90—106.— Прим. ред.

риализм в его ленинско-сталинской версии становится официальной доктриной, обязательным предметом вузовских и аспирантских программ. При этом преподавание «диамата» носит все более догматический характер. Такого еще не было в первой половине 30-х годов, когда автор учился в вузе (Индустриальный институт в Баку) и с увлечением слушал курс диалектического материализма, преподавателем которого доцент Манвелов вскоре попал в мясорубку 37-го года. И тогда же, вещь позднее немыслимая, преподавателем политекономии был беспартийный доцент Дмитриев, блестяще знавший свой предмет и наизусть цитировавший Маркса. В это же время в нашем институте проходили философские дискуссии, например о втором принципе термодинамики, выступали такие ученые, как вскоре уехавший в США знаменитый физик Г. А. Гамов.

Первые философские экскурсии наших естествоиспытателей были еще довольно робкими и, по существу, ограничивались подражанием «Диалектике природы» Энгельса. Однако довольно скоро эти упражнения стали носить менее невинный характер. Вдохновившись примером Ленина и взяв в качестве образца «Материализм и эмпириокритицизм», профессионалы-философы взялись поучать естествоиспытателей и решать за них дискуссионные вопросы отдельных наук. В качестве примера приведу факт создания в Ленинграде, в вездущем исследовательском геологическом институте страны (ЦНИГРИ) так называемого сектора диалектической реконструкции геологических наук, оохраненно — Седигерана. Во главе этого сектора был поставлен философ В. М. Букановский, которого, однако, в том же 1937-м также постигла печальная участь. Но Букановский успел оказать определенное влияние на творчество ряда крупных ученых, в частности известного тектониста М. М. Тетяева, который пользовался большим авторитетом в широких кругах ленинградских геологов и обладал недюжинным ораторским талантом. Другой крупный ученый, член-корреспондент АН СССР Н. А. Елисеев в соавторстве с деятелем Седигерана Д. И. Выдриным выпустил книжку «К вопросу об истории развития теории метаморфизма горных пород». Приведу характерный по своей фразеологии отрывок из этой книжки: «Современное состояние теории метаморфизма характеризуется развитием количественных, абстрактно-механических и физико-химических определений, в которых метаморфизм горных пород лишается своего геолого-петрологиче-

ского качества и распредедмечивается (теяет предметность).

Эта опасность петрологами-метафизиками эпохи загнивания капитализма не только не преодолевается, но даже и не осознается. Они в силу кризиса буржуазного миропонимания и всей буржуазной культуры в целом не способны подняться до осознания и оценки своих собственных теорий». И далее: «Многим теориям петрологии пришлось бы, наверное, постыдиться своей собственной истории».

Влияние Седигерана выразилось, в частности, в негативном отношении к классическому геологическому наследию и к западной геологической науке того времени. Отдаленным последствием деятельности Седигерана, который вскоре тихо скончался, было то, что в Геологическом словаре, изданном ВСЕГЕИ — преемником ЦНИГРИ, ряд общеупотребительных на Западе терминов был объявлен устаревшими и (или) не рекомендованными к применению.

В 40—50-е годы сам Сталин решил последовать примеру Ленина и начал «наводить порядок» в науках. Псевдофилософы-марксисты нашли себе союзников в лице амбициозных ученых, которые, опираясь на философов, пытались подавить своих научных оппонентов и сделать карьеру, в первую очередь академическую. В этом был исток «дискуссий», которые развернулись в 40—50-е годы². Не все они имели столь плачевные последствия, как сессия ВАСХНИЛ, и в некоторых случаях велись в достаточно корректной форме, например дискуссия по космогонии. Тем не менее общий психологический климат в советской науке стал характеризоваться нетерпимостью к инакомыслию, наклеиванием политических ярлыков вместо строгой научной аргументации. Прямо или косвенно деятельность философов, возомнивших себя гегемонами в науках, способствовала подавлению ряда оригинальных и новых научных направлений. В геологии это отразилось в трудностях, с которыми столкнулись проникшие к нам с Запада идеи тектоники плит.

В геологических науках также была предпринята попытка философской атаки. Я имею в виду дискуссию по литологии, проведенную в 1951 г. по инициативе литолога, профессора, позднее члена-корреспондента АН СССР Л. В. Пустовалова. Должен сразу отметить, что Пустовалов был

² См., например: Сомин А. С. Собрание, которое не состоялось // Природа. 1990. № 3—5; Левин А. Е. Судьба космогонических идей О. Ю. Шмидта // Природа. 1991. № 9. С. 71—108.— Прим. ред.

настоящим большим ученым, автором опубликованной в 1940 г. двухтомной «Петрографии осадочных пород», заслуженно удостоенной Сталинской премии — первой за труды по геологии. Увы, Пустовалов, как и ряд других советских ученых в то время, не удержался от соблазна и воспользовался открывшейся возможностью стать единственным лидером в науке об осадочных породах. Фактически он объявил войну другому, как ему казалось, возможному претенденту на эту роль — будущему академику Н. М. Страхову.

Поводом явилось обвинение в том, что метод сравнительной литологии, основанный на принципе актуализма «настоящее — ключ к прошлому», который Страхов применил вслед за своим учителем А. Д. Архангельским, научно несостоятелен и идеологически невыдержан, ибо означает отрицание эволюции геологических процессов во времени. Накануне дискуссии ситуация казалась угрожающей для Страхова — по словам друзей, он уже упаковывал чемоданы и собирался перебраться из Москвы в Воронеж.

Однако эта тревога оказалась преждевременной: дискуссия фактически окончилась вничью, верх взял здравый смысл, большинство участников отметили как положительные, так и отрицательные стороны построений и Страхова, и Пустовалова. Этот благополучный исход определился тем, что, вопреки надеждам организаторов дискуссии, ЦК не нашел нужным поддержать какую-либо из спорящих сторон.

Тем не менее ряд вполне серьезных и авторитетных ученых в эту эпоху не погнушался навешиванием идеологических ярлыков на своих идейных оппонентов. Так, например, крупнейший тектонист Н. С. Шатский, критикуя, причем во многом справедливо, представления немецкого ученого Г. Штилле, окрестил их «неокатастрофизмом», понимая катастрофизм, вслед за Энгельсом, как реакционное учение. В ответ на свою критику в адрес Штилле, Шатский получил обвинение в «вульгарном эволюционизме».

Другим примером может служить атака также весьма известного и почтенного ученого, профессора Московского нефтяного института Л. Ш. Давиташвили против еще более маститого геолога и палеонтолога А. А. Борисяка с обвинениями в лысенковском стиле. Атака эта, к счастью, захлебнулась, и огорченный Давиташвили вынужден был уехать в Грузию, где и был избран в академики.

Должен еще упомянуть о нездоровой атмосфере, сложившейся в те годы в среде геологов-нефтяников, где лидерство было захвачено И. М. Губкиным, в значительной степени по праву; ему действительно принадлежит огромная заслуга в открытии двух крупнейших нефтегазоносных областей нашей страны — Волго-Уральской и Западно-Сибирской. Но вокруг Губкина сформировалась группа подхалимов, которая всячески подогревала культ его личности и оттирала других, в том числе весьма даровитых ученых, имевших свои собственные взгляды.

Не стоит и говорить об обвинениях великого В. И. Вернадского в идеализме, витализме и т. д., ибо это общеизвестно.

Итак, с легкой руки официальных философов того времени практически во всех отраслях естественных наук в нашей стране свободная борьба мнений была подменена натравливанием одних ученых на других, что не могло не иметь самых отрицательных последствий.

Однако вывод, что ничего кроме вреда вмешательство философов в естественные науки в советский период не внесло, был бы поспешным и неверным. Из него логично должно было следовать, что философия естествознанию вообще не нужна, тем более что многие великие открытия были сделаны учеными, не сдававшими экзамен по диамату (Лобачевский, Дарвин, Менделеев и многие другие).

Именно такой вывод был сделан недавно в публикациях такого уважаемого ученого, как Н. М. Амосов. Я, однако, не могу согласиться со столь категорическим заключением и, в частности, считаю, что деятельность семинара, который я имел честь возглавлять на геологическом факультете МГУ, отнюдь не заслуживает отрицательной оценки. Конечно, в начале каждого учебного года по настоянию парткома МГУ мы должны были посвящать одно-два занятия пропаганде решений очередного съезда или пленума ЦК КПСС. Но эти занятия проходили чисто формально, докладчики присылались тем же парткомом. А остальные занятия посвящались обсуждению по существу чисто научных вопросов, за что время от времени мы получали упреки от парткома, требовавшего большей политизации. Вместе с тем семинар играл положительную, объединяющую роль для специалистов с разных кафедр и позволял обсуждать методологические проблемы, общие для разных наук о Земле, представленных на

факультете (геология, геофизика, геохимия и др.).

Я полагаю далее, что студентов в вузе необходимо учить логике. Читая многие работы своих коллег, нередко замечаешь пробелы в этой области. Что касается диалектики, то могу засвидетельствовать, что многие затянувшиеся на долгие годы дискуссии в моей области, например вокруг упомянутого метода актуализма или теории катастроф, давно могли бы получить рациональное решение, если бы спорящие стороны мыслили диалектически и воспринимали отдельные стороны рассматриваемых процессов в единстве их противоположностей.

Вместе с тем я считаю, что на современном этапе самой философии пришло время не столько учить естествоиспытателей, сколько самой усвоить новейшие достижения естествознания. Так, мне представляется, что основные принципы системного анализа — иерархия систем, их эмергентные свойства, принцип обратной связи — имеют значение, равное общеизвестным законам диалектики — и служат их естественным дополнением. То же относится к выдвинутой И. Р. Пригожиным концепции самоорганизации, саморазвития открытых неравновесных систем. А уже после усвоения студентами этих основ философии, как науки об общих законах мышления и познания, им будет полезно познакомиться с различными философскими учениями, не сводя, однако, их различия к противопоставлению материализма и идеализма.

Мне думается, что противоречие между этими двумя течениями философской мысли не является абсолютным. (Кстати говоря, оно снято утверждением самих материалистов, что когда идея овладевает массами, она становится материальной силой.) К тому же, с современной точки зрения, Энгельс и Ленин такие же вульгарные материалисты, как и их предшественники в XVIII столетии. Что такое, например, физические поля — гравитационное, электромагнитное, если рассуждать с позиций примитивного представления о материи?

Теперь несколько слов по поводу религии. Должен сразу сказать, что мое отношение ко всем религиозным конфессиям было и остается весьма скептическим, хотя ныне это и не очень модно. Но значит ли

это, что сама идея о существовании какого-то божественного начала может быть убедительно опровергнута наукой? Некоторые кардинальные проблемы остаются и, уверен, долго еще останутся нерешенными. Прежде всего — происхождение Вселенной (что было до Большого взрыва) и происхождение жизни, живого из неживого. Весьма сомнительна возможность существования внезапных цивилизаций, и остается сильное подозрение, что наша планета уникальна в этом смысле не только в масштабе Солнечной системы. И пока все эти и некоторые другие (например, природа всемирного тяготения) проблемы не решены, существует возможность их объяснения с помощью вмешательства некой божественной силы, не обязательно персонафицируемой в виде Бога-человека. Иначе говоря, место для Бога всегда останется, пока не будет познана абсолютная истина, а она, очевидно, никогда не будет познана.

Хотелось бы добавить, что и к существующим религиям отношение вовсе не должно быть негативным, хотя, увы, немало кровавых преступлений совершалось и совершается якобы во имя веры. Религии внесли и продолжают вносить большой положительный вклад в человеческую культуру. Исторически с ними связано становление многих национальных культур, ряда гуманитарных наук (письменность, историография), искусства (живопись, скульптура, музыка). А сколько великих шедевров архитектуры — церквей, мечетей, храмов — и живописи было создано во славу Божию или на религиозные мотивы.

Я всецело за глубоко уважительное отношение к религии, любой религии — историчности культуры и морали, к истинным ее служителям, к чувствам верующих. Но я против навязывания религии, особенно подрастающему поколению, против кощунственной замены на наших улицах и площадях прежних партийных лозунгов вроде «Партия — ум, честь и совесть нашей эпохи», призывами типа «Отче преподобный Сергей, помолись за нас Богу». И не считаю удачным, что для предотвращения безработицы среди преподавателей «научного атеизма» сей предмет заменили на историю религий; как факультатив я предпочел бы историю искусства.

Самый северный примат в Азии

Е. Н. Машенко



Евгений Николаевич Машенко, младший научный сотрудник лаборатории млекопитающих Палеонтологического института РАН. Занимается изучением ископаемых приматов и хоботных.

ЛЕТОМ 1985 г. в долине р. Темник (западное Забайкалье, Удунгийский район, 52° с. ш.) палеонтолог из Геологического института СО РАН Н. П. Калмыков обнаружил уникальное местонахождение остатков древних млекопитающих раннеплиоценового возраста (около 4 млн. лет), которое было названо, как и близлежащий поселок, — Удунга. Здесь оказались кости мартышкообразных обезьян (сем. *Sesoriithesidae*) и млекопитающих, относящихся к теплолюбивой древней фауне Забайкалья: пищух, рысей, гепардов, росомох, барсуков, саблезубых кошек, гиен, медведей, малых панд (первая находка на территории России), мастодонтов, гиппарионов, носорогов, антилоп, оленей и косуль¹. Похожая, но более молодая (около 3 млн. лет) фауна млекопитающих была открыта в Монголии в 1975 г. значительно южнее, в местонахождении Шамар, отрядом российско-монгольской палеонтологической экспедиции. Фаунистический состав позволяет утверждать, что находка обезьяны в Удунге не случайность, а особенность древней зоогеографии Азии.

Географическое распространение животных тесно связано с комплексом физико-географических условий: температурой воздуха, длиной дня, продолжительностью периода вегетации растений и доступностью пищи в разные сезоны года. Почти все современные приматы — тропические и субтропические животные, и только отдельные представители этой группы, некоторые роды семейства мартышкообразных обезьян, обитают в условиях климата переходного от субтропического к умеренному. В Азии мартышкообразные обезьяны распространены вплоть до 35° с. ш., и лишь один вид из этого семейства, а именно японские макаки, живут еще севернее — на о. Хонсю (Японские о-ва), расположенном на 41° с. ш.²

Центром возникновения мартышко-

© Машенко Е. Н. Самый северный примат Азии.

¹ Калмыков Н. П., Машенко Е. Н. // Палеонтол. журн. 1992. № 2. С. 136—138.

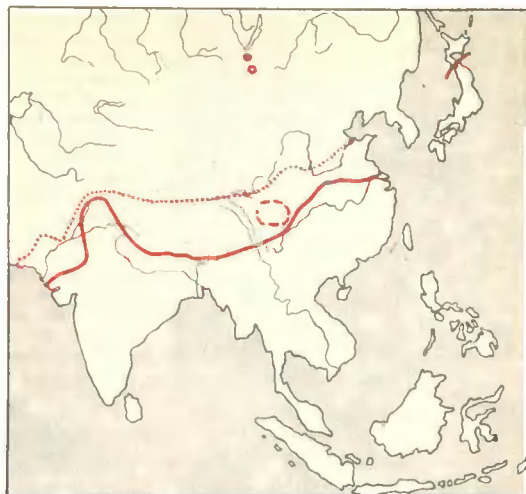
² Napier J., Napier P. Handbook of living primates. London, 1967.

образных обезьян считается Восточная Африка, поскольку на территории Кении обнаружены древнейшие остатки — их возраст более 16 млн. лет. Областью становления и эволюции этой группы приматов долго оставалась зона тропических лесов. В конце миоценового периода (около 11 млн. лет), когда возникли сухопутные мосты между Африкой и Евразией, мартишкообразные обезьяны расселились в другие области.






Последующая длительная эволюция этого семейства приматов сопровождалась появлением и вымиранием значительного числа своеобразных видов обезьян. При этом, однако, не произошло значительного отклонения от исходного предкового морфологического типа. Как древние, так и современные представители этого семейства имеют 32 зуба, причем коренные зубы с четырьмя бугорками, соединенными поперечными гребнями. Особенности строения черепа, костей конечностей и зубов позволяют отнести их к группе растительноядных древесных приматов, довольно широко распространенных в тропиках и субтропиках Евразии и Африки. Обезьяны, так же как и представители древней фауны млекопитающих, напоминавших современную индо-малайскую, обитали гораздо севернее современных обезьян родственных видов.

Максимальное расселение теплолюбивой фауны в Азии произошло в эпоху климатического оптимума раннего плейстоцена (приблизительно 4,5—3,5 млн. лет)³. В этот период границы климатических зон были значительно смещены к полюсам и субполярная зона, к которой относится теперь территория современного Забайкалья, находилась за 60° с. ш. Забайкалье и Северная Монголия по своим физико-географическим и климатическим условиям, видимо, напоминали север субтропической зоны Южного Китая. Об этом свидетельствует и состав теплоумеренной флоры, распространенной в западном Забайкалье в раннем плейстоцене. В целом состав растительных сообществ мало отличался от современных, но, как и границы климатических зон, границы растительных зон также были смещены к полюсам.

Завершение эпохи климатического оптимума вызвало общее похолодание и аридизацию климата в Азии. И теперь на территории западного Забайкалья обитают животные южной зоны тайги (заяц, белка,



Местонахождения парапресбитисов.

-  Местонахождение Удунга
-  Местонахождение Шамар
-  Область распространения современной обезьяны ринопитона
-  Северная граница распространения современных мартишкообразных обезьян
-  Северная граница распространения современной индо-малайской фауны

медведь, волк, соболь, россомаха, лось, северный олень, марал, кабарга).

Изменение климата в Азии, начавшееся в плейстоцене, было достаточно долгим и сложным процессом. Общая тенденция смещения границ климатических зон с севера на юг фиксируется и по изменению областей распространения теплолюбивой азиатской фауны млекопитающих, и по изменению самого ее состава в последующие эпохи. Так, фауна млекопитающих местонахождения Шамар в Северной Монголии, где также были найдены остатки обезьян, датируется поздним плейстоценом, но она была иной, не такой, как более древняя фауна Забайкалья. Если в фауне Удунги преобладали лесные млекопитающие, то в сменившей ее северомонгольской больше степных и лесостепных видов. Обезьяны для этой фауны — скорее реликтовый элемент. Позднее, в начале плейстоценового периода (около 1,5 млн. лет), древняя индо-малайская фауна не встречалась в Центральной Азии, а была распространена почти в тех же районах, где и сейчас. Именно с плейстоцена в составе этой фауны появляются одни из ближайших род-

³ Блюм Н. С., Сафарова С. А. Прогнозы по палеоклиматическим сценариям // Природа. 1991. № 6. С. 68—69.



Фрагмент черепа малой панды [*Ailurus fulgens*] из местонахождения Удунга — первая находка этого вида млекопитающих на территории России. Верхняя челюсть — вид со щечной стороны (слева) и со стороны жевательной поверхности зубов.



Млекопитающие современной индо-малайской фауны, содержащей некоторые реликтовые древние виды плейстоцена и даже плиоцена. Эта теплолюбивая субтропическая и тропическая фауна в настоящее время распространена в Азии от южного Китая и Индии до Больших Зондских о-вов. 1 — азиатский носорог [*Rhinoceros unicornis*]; 2 — азиатский буйвол [*Bubalus arnee*]; 3 — азиатский слон [*Elephas maximus*]; 4 — большая панда [*Ailuropoda melanoleuca*]; 5 — чепрачный тапир [*Tapirus indicus*]; 6 — дикий кабан [*Sus scrofa*]; 7 — барсук [*Meles meles*]; 8 — ринопитек [*Rhinopithecus roxellana*].

стенников обезьян из Забайкалья, ринопитеки (*Rhinopithecus*), которые вместе с другими реликтовыми видами животных (пандой, чепрачным тапиром и др.) сохранились до наших дней⁴.

Животные раннеплиоценовой фауны Забайкалья обитали в предгорных и долинных широколиственных лесах. В Удунге в отложениях, содержащих кости древних млекопитающих, обнаружена пыльца дуба, липы, клена, ольхи, вяза, граба и ивы.

⁴ Matthew W. D., Grenger W. New fossil mammals from the pliocene of Sze Chuuaann, China // Bull. Amer. Museum Natural History. Central Asiatic expedition. Preliminary Reports. 1918—1923. V. 1. N 48. P. 588.

Леса верхнего уровня гор в окрестностях местонахождения Удунги состояли из берез, лиственниц и сосен. Подобные долинские и предгорные широколиственные леса, сменяющиеся темнохвойными лесами у верхней границы леса, и теперь характерны для юго-западного Китая, предгорий Тибета, Ассамы — северных районов современного распространения индо-малайской фауны. Здесь еще обитают (в заповедниках и резерватах) слон, носорог, малая и большая панды, обезьяны.

В результате подробного анализа остатков обезьян из Удунги выяснилось, что фрагменты верхних челюстей, черепов и отдельные нижнечелюстные зубы принадлежали по крайней мере двум особям (самцу и самке). Этим обезьянам можно отнести к подсемейству тонкотелов (*Colobinae*), к которым принадлежат колобусы Африки (*Colobus*), а также носачи (*Nasalis*), ринопитеки (*Rhinopithecus*), гульманы (*Presbytis*) из Азии. За сходство с гульманом (*P. entellus*) обезьяну из Удунги мы назвали парапресбитисом (*Parapresbytis*; от лат. *para* — похожий и *Presbytis* — родовое название гульмана). Остатки такой же обезьяны из монгольского местонахождения Шамар первоначально были определены неточно, как представители рода пресбитис, из-за фрагментарности этих остатков. Новые находки в Удунге позволили уточнить систематическое положение этого примата и выделить новый род в подсемействе тонкотелых обезьян.

Уверенность в том, что парапресбитис относится именно к этой группе приматов, у нас возникла после изучения особенностей строения зубной системы. Исключительная растительноядность тонкотелых обезьян определяет строение их предкоренных и коренных зубов, имеющих высокие бугорки и поперечные гребни, которые, подобно ножницам, измельчают растительный корм. Пищу тонкотелов в основном составляют зеленые листья, побеги, цветы и плоды растений, поэтому их желудок состоит из двух отделов, а не из одного, как у других высших приматов: собственно мартишкообразных (*Seropithecinae*), человекообразных и человека. У ископаемых тонкотелых обезьян установить эту особенность анатомии невозможно, но сходство с современными тонкотелами по многим другим признакам позволяет предположить, что у парапресбитиса был двухкамерный желудок.

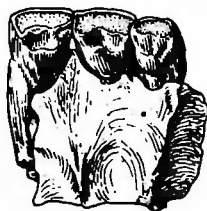
Характер повреждений и расположение фрагментов черепов обезьян и костей других млекопитающих в Удунге указывает

Рокселланов ринопитек (*Rhinopithecus roxallana*). Современный тонкотел, обитающий в горных лесах юго-западного Китая. Ведет древесный образ жизни. Редкая обезьяна, естественная численность неизвестна. Включен в Красную книгу Международного союза охраны природы. Из-за красивого золотистого меха ринопитека еще называют золотой обезьяной. (Нестурх М. Ф. Происхождение человека. М., 1970. С. 262).

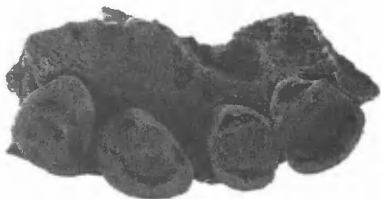
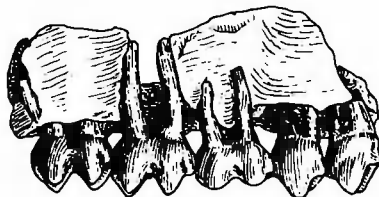
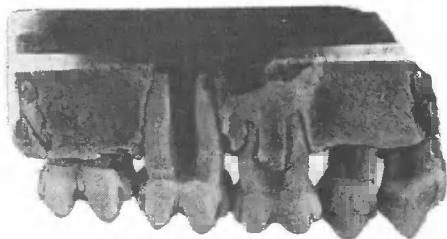
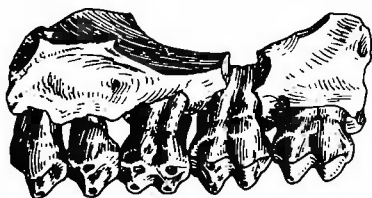
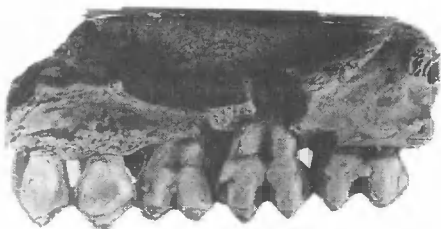
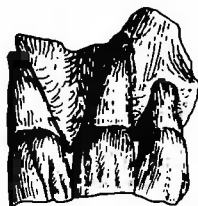
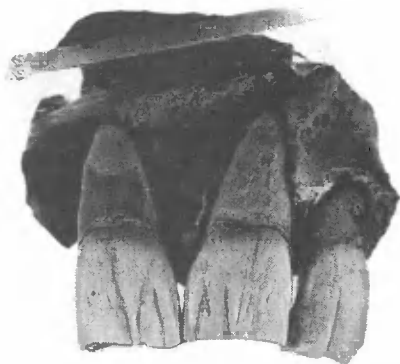


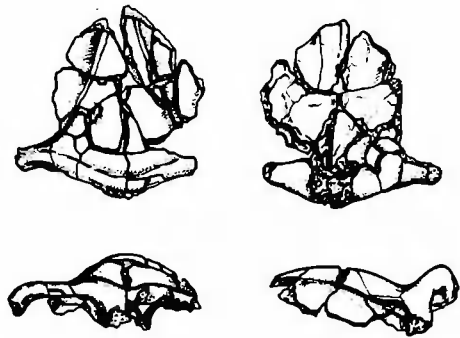
на то, что большая их часть попала в костеносный слой благодаря хищникам. Множество копролитов (обызвествленных окаменевших экскрементов) хищных млекопитающих, способных поедать кости других животных, было обнаружено в самом костеносном слое местонахождения. То, что фрагменты черепов обеих обезьян были собраны с небольшого участка площадью около 2 м², также может подтверждать предположение о том, что обезьяны стали жертвами хищников.

Черепную крышку самца парапресбитиса после извлечения из породы удалось склеить из множества фрагментов, и стало ясно, что у него, как и у других тонкотелов, глазницы широко посажены (у собственно мартишкообразных обезьян, наоборот, сближены), а их длина, видимо, больше высоты. Надглазничный валик достаточно крупный, приподнятый, что также характерно для крупных видов тонкотелых обезьян. Кроме того, череп парапресбитиса имел короткий и широкий лицевой отдел с крупным носовым отверстием и во многом напоминал череп современного ринопитека, однако уникальное строение передних зубов (резцов и клыков), очень толстая эмаль отличают парапресбитиса от всех других известных мартишкообразных обезьян. Толщина эмали так велика, что на передней поверхности резцов она образует вертикальные складки. Сами резцы тоже массивные, крупные. Их переднезадний диаметр равен поперечному, тогда как у дру-

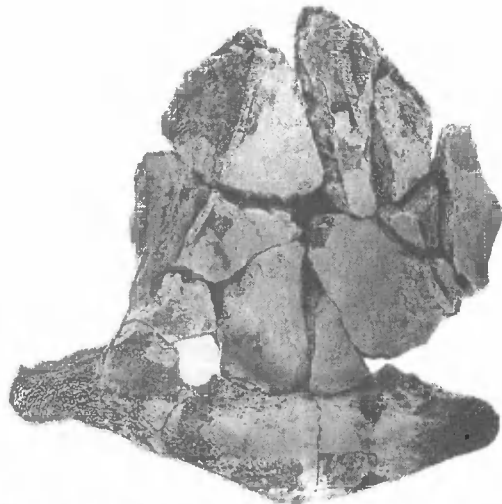


Фрагменты верхних челюстей парапресбитисов из местонахождения Удунга: самца и самки (внизу). Справа даны прорисовки этих фрагментов.





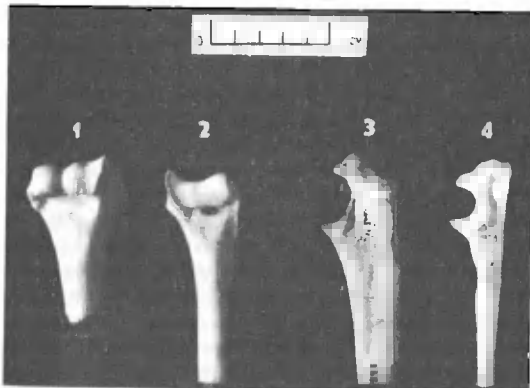
Фрагменты черепной крышки самца парапесбитиса — прорисовки и фото.



гих мартышкообразных обезьян первый диаметр всегда меньше. Так как резцовый отдел верхней челюсти уплощен, резцы вместе с клыками располагаются не по дуге, как обычно, а почти по прямой. Массивные резцы заметно выступают вперед, придавая лицу парапесбитиса еще большую, чем у ринопитека (которого иногда называют «курносой обезьяной»), вогнутость. Исходя из этого можно предположить, что парапесбитис имел еще более курносый, вздернутый нос.

Чрезмерная величина передних зубов (по сравнению с их размерами у ринопитека), более короткие и овальные клыки, чем у прочих мартышкообразных обезьян, свидетельствуют об особой пищевой специализации парапесбитиса. На это же указывает значительно большая стертость резцов и клыков по сравнению с коренными и предкоренными зубами. Подобный тип стирания коронок зубов и форма стирания не встречается больше ни у других тонкотелов, ни вообще в семействе мартышкообразных обезьян (как правило, степень стертости зубных коронок примерно одинакова и зависит только от времени прорезания постоянных зубов). Такие особенности строения зубов парапесбитиса, возможно, указывают на то, что эти обезьяны скусывали или размельчали пищу исключительно передними зубами (возможно, плоды с твердой оболочкой или побеги с толстой корой).

По размерам фрагментов черепа и длинных костей конечностей можно судить, что парапесбитис был достаточно крупной обезьяной: длина тела самца была, видимо, не менее 80 см. Этот вид обезьян — один из самых крупных во всем подсемействе азиатских тонкотелов и не уступает



Сравнение размеров костей конечностей тонкотелой обезьяны парапесбитиса из местонахождения Шамар и современного павиана гамадрила (самка, длина тела 60 см). 1 — фрагмент плечевой кости парапесбитиса; 2 — плечевая кость павиана гамадрила; 3 — локтевая кость парапесбитиса; 4 — локтевая кость павиана гамадрила.



Гульман (Presbytis eutellus).

по размерам таким крупным мартышкообразным обезьянам, как павианы. Исходя из размеров остатков найденных в Удунге самца и самки парапресбитисов можно судить о степени их полового диморфизма: самцы, как и у многих других видов мартышкообразных обезьян, были крупнее самок. Тело всех тонкотелых обезьян довольно стройное, с длинными конечностями и хвостом. Кисти и стопы длинные и узкие, большой палец на передних конечностях сильно укорочен, седалищные мозоли очень малы или совсем отсутствуют, нет защитного мешка, характерного для других представителей этого семейства. Все тонкотелы, за исключением нескольких вымерших видов, ведут преимущественно древесный образ жизни. Относительно большое сходство в строении передних зубов парапресбитиса и ринопитека, близость сопутствующей им флоры и фауны позволяют предположить, что эти обезьяны вели сходный, но не идентичный образ жизни. Как и современный ринопитек, парапресбитис был лесной обезьяной и жил на деревьях.

Из четырех современных родов тонкотелов (24 вида) только колобус живет в Африке, а три других рода обитают в Юго-Восточной Азии. И наоборот, из подсемейства мартышкообразных обезьян только один род — макаки — живет в Азии, а другие — в Африке. В течение плиоценового периода тонкотелые обезьяны были распространены не только в Африке и Азии, но и в Европе, на нынешних территориях Франции, Испании, Италии, Греции и даже на юге Украины. Например, в Южной Европе в начале плиоценового периода обитали два рода сейчас уже вымерших тонкотелов: мезопитек (*Mesopithecus*), маленькая древесная обезьяна, и долихопитек (*Dolichopithecus*) — крупный и, видимо, полностью наземный тонкотел, образом жизни скорее всего напоминавший современного павиана. В начале плейстоценового периода (около 1,7 млн. лет) многие виды тонкотелов в Азии и все тонкотелые обезьяны в Европе вымерли, и основной областью

их распространения стала Юго-Восточная Азия.

Находка парапресбитиса в Забайкалье существенно сдвигает к северу границу распространения приматов в Азии до 52° с. ш., а кроме того, расширяет наше представление о древних тонкотелых обезьянах, направлении их эволюции, территориальном распространении в прошлом и возможных экологических особенностях. Парапресбитис как бы перекидывает «мост» между одной из многих групп вымерших тонкотелов Азии и их современными потомками. Раньше самыми древними тонкотелыми обезьянами Азии считались позднемиоценовый мезопитек, обитавший почти 6 млн. лет назад на территории современного Афганистана, и обезьяны, остатки которых были обнаружены в местонахождении Сивалик (северная Индия), относящиеся к роду *Presbytis*, жившие в ту же эпоху. Находки эти очень фрагментарны — отдельные зубы или небольшие фрагменты челюстей, по ним удается определить только принадлежность к подсемейству тонкотелов. Именно по особенностям морфологии мезопитека и пресбитиса, как самых древних представителей тонкотелов, делались филогенетические построения для более поздних родов тонкотелых обезьян Азии.

Находка парапресбитиса показывает, что не все тонкотелы произошли от этих обезьян. Сохранность остатков парапресбитиса из Удунги позволила провести полное исследование особенностей этой обезьяны, и теперь становится ясно, что уже в раннем плиоцене существовали другие эволюционные линии тонкотелых обезьян, ведущие, хотя и не прямо, к таким современным родам, как ринопитек. Наконец, благодаря находке парапресбитиса и других древних млекопитающих в западном Забайкалье можно заключить, как меняется климат и животный мир на территории Центральной Азии с древнейших времен, наглядно проиллюстрировать предсказанное палеоклиматологами изменение растительности и животного мира.

Управляемые синапсы

А. Л. Бызов



Алексей Леонтьевич Бызов, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией обработки информации в сенсорных системах Института проблем передачи информации РАН. Область научных интересов — нейрофизиология сенсорных систем, в частности зрения (сетчатки). Лауреат премии им. И. М. Сеченова АН СССР (1967 г.). Член редколлегии журнала «Природа».

СОВРЕМЕННАЯ нейрофизиология уделяет большое внимание нейронным сетям, образуемым многими миллионами связанных между собой нейронов. Нервная система позвоночных животных состоит из огромного числа нервных клеток — нейронов, связанных между собой в сети и системы разной сложности. Собственно, весь мозг состоит из совокупности таких сетей. Наиболее распространенный, хотя и не единственный способ межнейронных связей — химические синапсы, в которых сигнал от клетки к клетке передается веществом — нейромедиатором. В структуре синапса различают пресинаптическую часть (обычно окончание аксона — проводящего отростка нейрона), синаптическую щель (пространство, разделяющее контактирующие клетки) и пост- или субсинаптическую часть (участок клетки, куда подходит пресинаптическое окончание). Пресинаптическое окончание содержит пузырьки, заполненные медиатором (рис. 1). Механизм синаптической передачи, изученный достаточно хорошо, и лежит в основе представлений о работе нейронных сетей и центров.

За последние десятилетия появились многочисленные данные о том, что эффективность синаптической передачи может сильно меняться в зависимости от предшествующей активности и ряда других факторов. Были предложены остроумные, хотя и довольно сложные и не вполне убедительные гипотезы, дополняющие классические представления о синаптической передаче. Однако возможность просто и эффективно управлять химической синаптической передачей заложена в самом ее механизме. Объяснению этого и посвящена настоящая статья.

Каковы же классические представления о механизме синаптической передачи? В покое, когда мембрана пресинаптического нейрона сильно поляризована (-60 , -70 мВ), синапс закрыт и медиатор не выделяется. Уменьшение потенциала — depo-

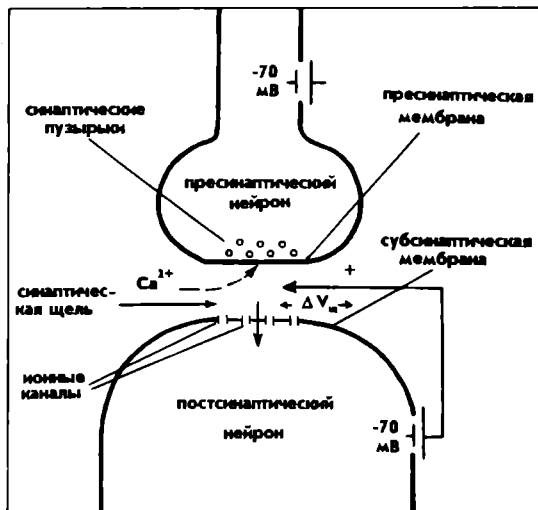


Рис. 1. Механизм передачи сигнала в химическом синапсе. В покое оба нейрона имеют высокий мембранный потенциал (около -70 мВ). Деполяризация пресинаптического нейрона активирует кальциевые каналы, ионы Ca^{2+} входят через пресинаптическую мембрану и вызывают выброс медиатора в синаптическую щель. Здесь медиатор активирует хемочувствительные ионные каналы субсинаптической мембраны, в результате возникает электрический ток, генерируемый постсинаптическим нейроном (цветная стрелка). Этот синаптический ток и служит сигналом электрической обратной связи.

ляризация, вызванная, например, приходом импульса или другим стимулом, открывает потенциал-управляемые кальциевые каналы пресинаптической мембраны. Ионы кальция (Ca), поступающие в клетку, стимулируют выброс медиатора в синаптическую щель. В свою очередь, медиатор активирует хемочувствительные ионные каналы субсинаптической мембраны, вызывая деполяризацию постсинаптического нейрона (если синапс возбуждающий). При этом величина передаваемого через синапс сигнала зависит от напряжения на пресинаптической мембране: больше деполяризация, больше вошло ионов Ca , больше выделилось медиатора.

В разных отделах нервной системы синапсы с переменной эффективностью различны. Для удобства изложения выделим три типа: синапсы с памятью, т. е. тем более эффективные, чем они были активнее в предшествующий период; синапсы, эффективность передачи которых зависит от каких-то внешних или внутренних условий, например времени суток, характера освещения и т. д.; специальные синапсы сложной конструкции, в которых участвуют сразу три (или более) клетки, причем одна из

них служит регулятором синаптической передачи между двумя другими.

Наиболее известны синапсы первого типа, вернее, не они сами, а приписываемый их участию феномен «длительной потенциации» в гиппокампе (так называемой старой коре мозга), зрительной коре и других отделах (рис. 2, а). Активация таких синапсов, особенно если она сопровождается возбуждением постсинаптических нейронов, на длительное время (от минут до недель) увеличивает постсинаптические ответы, как в известном теоретическом синапсе Хебба. Именно таким синапсам посвящено огромное количество экспериментальных исследований и гипотез относительно нейронной памяти и обучения¹.

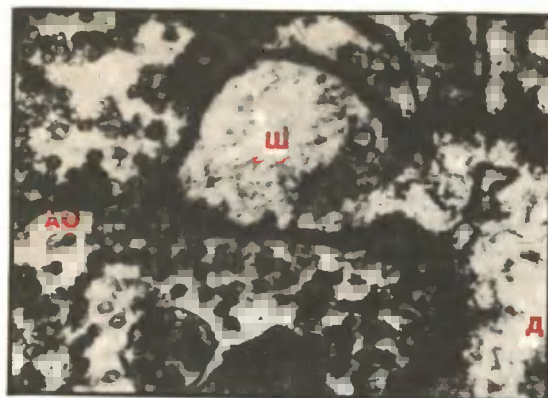
Синапсы второго типа известны гораздо меньше, хотя, вероятно, и они весьма распространены. Можно привести два примера: синапс между электрорецепторной клеткой и афферентным, т. е. передающим сигналы в мозг, нервным волокном в ампулах Лоренцини у рыб (рис. 2, б), и синапс между фоторецепторами и горизонтальными клетками в сетчатке позвоночных. В обоих случаях, особенно в первом, синапсы чрезвычайно чувствительны, т. е. сдвиг потенциала всего лишь на микровольты, заметно влияет на выделение медиатора². В то же время чувствительность может сильно, но обратимо снижаться, например, в фоторецепторных синапсах рыб после длительного (часы) пребывания в темноте; у электрорецепторов — пока в еще не выясненных условиях.

Яркий пример синапса, эффективность передачи которого регулируется другим специальным нейроном, найден в сетчатке. Это так называемые триадные синапсы между фоторецепторами и нейронами второго порядка (рис. 2, в). Здесь горизонтальные клетки выступают в роли регуляторов синаптической передачи между фоторецепторами и биполярными клетками.

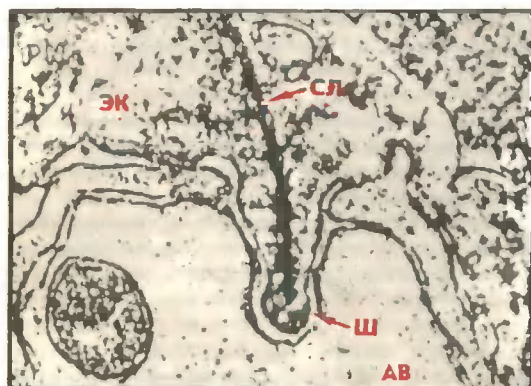
Для всех упомянутых синапсов с переменной эффективностью передачи характерны некоторые общие черты. Во-первых, медиатором в них, как и во многих других возбуждающих синапсах, служит глутаминовая аминокислота (или ее соль — глутамат). Во-вторых, синаптически активная зо-

¹ Wickens J. Electrically coupled but chemically isolated synapses: dendritic spines and calcium in a rule for synaptic modification // Progr. in Neurobiol. 1988. V. 31. N 6. P. 507—528; Calvarley R. K. S., Jones D. G. Contributions of dendritic spines and perforated synapses to synaptic plasticity // Brain Res. Rev. 1990. V. 15. P. 215—249.

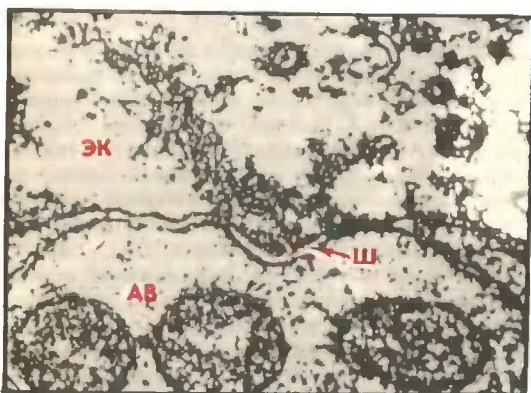
² Броун Г. Р., Ильинский О. Б. Физиология электрорецепторов. Л., 1984.



а

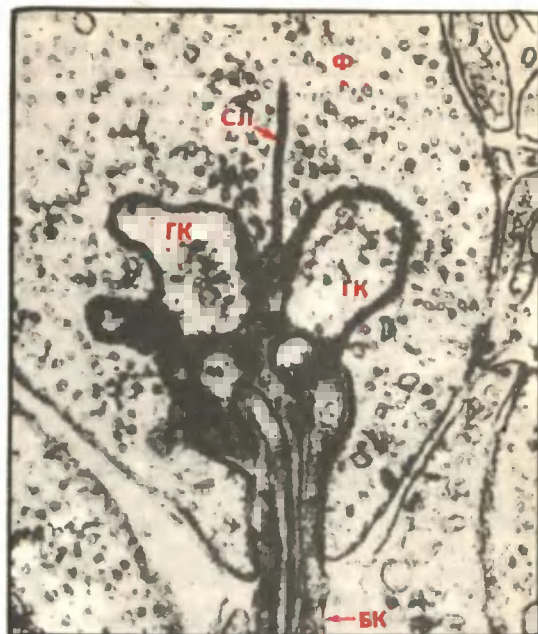


0,5 мкм



б

на, где выделяется медиатор, располагается обычно вблизи от вершины выроста одной клетки как бы внутрь другой (рис. 2, а, б). В центральной нервной системе и сетчатке это так называемые шипики (или инвагинации) — выросты постсинаптического нейрона в пресинаптический, в элект-



в

рис. 2. Ультраструктура возбуждающих химических синапсов шпикового типа в разных отделах нервной системы. а — в наружном колленчатом теле. Ш — шипики, АО — афферентное окончание, Д — дендрит [по Н. Н. Боголепову, 1975]. б — синапс между электрорецептором и афферентным волокном в ампуле Лоренцини ската в двух функциональных состояниях: с глубоким вращением шпика, коррелирующим с высокой чувствительностью (вверху) и почти без вращаия, когда чувствительность снижена. ЭК — электрорецепторная клетка, АВ — афферентное волокно, СЛ — синаптическая лента. в — триадный синапс между палочкой и нейронами второго порядка сетчатки обезьяны. Отростки горизонтальных и биполярных клеток глубоко вращают в пресинаптическое окончание палочки, образуя сложный синтаптический комплекс. Ф — фоторецептор, ГК — горизонтальные клетки, БК — биполярные клетки.

роцепторах рыб — наоборот, вращение пресинаптического нейрона в постсинаптическое афферентное окончание. Все эти синапсы обладают высокой структурной пластичностью: всего за десятки минут вращаия могут углубляться или укорачиваться.

Мы хотим обратить внимание не столько на функцию и место синапсов с переменной эффективностью передачи в нейронных сетях и в мозге, сколько на механизм регуляции их эффективности. Существующие в литературе объяснения далеко не полны и не во всем убедительны. В то же время наши многолетние исследования

на сетчатке позволили предложить новую гипотезу механизма управления эффективностью синаптической передачи, которая одинаково пригодна для синапсов всех трех типов.

РЕГУЛЯЦИЯ СИНАПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ (ГИПОТЕЗЫ)

Современные гипотезы механизма управления эффективностью синаптической передачи возникли главным образом из анализа длительной потенциации в коре мозга — гиппокампе. Требовалось объяснить не столько повышение эффективности синапса после его многократной активации, сколько необходимость сочетать эту активацию с иницилируемым из другого источника возбуждением — деполяризацией постсинаптического нейрона. Такое свойство «ассоциативности» особенно интересно с точки зрения обучения нейронных сетей, формирования условных рефлексов и функционирования памяти.

Известны два механизма, первый из которых связан с кальциевым током, проходящим через клеточную мембрану внутрь постсинаптического нейрона. Кальций может поступать в клетку двумя путями: вместе с ионами натрия через активируемые медиатором катионные каналы субсинаптической мембраны и через специальные потенциал-управляемые кальциевые каналы, которые открываются при деполяризации мембраны. Ионы кальция, перенося положительный заряд внутрь нейрона, еще больше деполяризуют мембрану, что, в свою очередь, сильнее активирует Са-каналы. Такая положительная обратная связь усиливает постсинаптический ответ и в определенных условиях может привести нейрон в состояние длительного возбуждения (деполяризации), поддерживаемое без возбуждающих синаптических сигналов. Отсюда понятна роль сочетания синаптического притока с дополнительной деполяризацией: одного синаптического ответа может быть недостаточно для необходимой активации Са-каналов.

Второй механизм более тонкий и экзотичный. Он связан с удивительными свойствами некоторых глутаматных синапсов. Немногим более десяти лет назад было обнаружено, что в этих синапсах проводимость ионных каналов субсинаптической мембраны может управляться не только медиатором, как в других химических синапсах, но и мембранным потенциалом. По названию специфического вещества, имитирующего действие глутамата — N-метил-D-аспартата, они были названы синапсами

NMDA-типа. В нормальном состоянии, когда клетка поляризована, такой синапс закрыт и медиатор не в состоянии его открыть. Однако в сильно деполяризованной клетке глутамат открывает катионные каналы субсинаптической мембраны, чем еще больше деполяризует клетку. Здесь также понятна роль сочетания совместного действия синаптического сигнала и постсинаптической деполяризации.

Отметим, что кальциевый и NMDA-синаптический механизмы — не конкуренты, а синергисты: для обоих важна деполяризация постсинаптического нейрона, и оба они эту деполяризацию усиливают, дополняя друг друга.

Усилить эффективность синаптической передачи могут и шипики, расположенные в синапсе. Идея здесь проста. Один маленький синапс, оканчивающийся на толстом дендрите (воспринимающий отросток нейрона), не способен заметно сдвинуть его мембранный потенциал: слишком мала площадь возбужденной субсинаптической мембраны. Но такой же синапс на маленьком шипике, полость которого частично электрически изолирована от дендрита сопротивлением шейки шипика, может вызвать более сильную деполяризацию, достаточную для активации NMDA-управляемых и кальциевых каналов. Чем длиннее шипик, тем выше сопротивление его шейки, тем легче в нем сдвинуть потенциал до уровня, необходимого для длительной потенциации. Правда, тем труднее эту электрическую реакцию передать через сопротивление шейки в основной дендрит.

Мы не будем сейчас вдаваться в более подробный анализ и критику предлагаемых механизмов повышения синаптической эффективности. Важно, что все они (ионы Са, NMDA-управляемые каналы и шипики) расположены в постсинаптическом нейроне. Между тем недавно на основании квантового анализа постсинаптических потенциалов в нейронах гиппокампа был сделан важный для нас вывод: механизмы, повышающие эффективность синаптической передачи во время длительной потенциации, локализованы преимущественно пресинаптически³. Другими словами, эффективность синапса возрастает не потому, что медиатор действует эффективнее, а, главным об-

³Воронин Л. Л., Кунт У., Хесс Г. Квантовый анализ длительной потенциации суммарных постсинаптических потенциалов нейронов переживающих срезыв гиппокампа // Нейрофизиология. 1990. Т. 22. № 4. С. 465—472; Voronin L. L. Synaptic modifications and memory. Berlin, 1993.

разом, вследствие большего выделения медиатора на тот же входящий сигнал.

Таким образом, нужен какой-то иной механизм — пресинаптический, который объяснял бы не только длительную потенциацию в гиппокампе, но и другие случаи изменения эффективности синаптической передачи. Мы предлагаем такой механизм, основанный на электрической обратной связи в химических синапсах. Что она собой представляет и каким образом может управлять эффективностью синаптической передачи?

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В ХИМИЧЕСКОМ СИНАПСЕ

Напомним: выделение медиатора из пресинаптического нейрона регулируется потенциалом на пресинаптической мембране вблизи от скопления синаптических пузырьков посредством ионов кальция. Именно здесь кальций должен войти внутрь клетки, чтобы вызвать выделение медиатора в синаптическую щель. Допустим, какое-то воздействие деполяризует пресинаптический нейрон, соответственно, и пресинаптическую мембрану, что стимулирует выделение медиатора. Возбуждающий медиатор открывает катионные каналы субсинаптической мембраны, т. е. как бы делает в ней дырки, в результате чего постсинаптический нейрон также деполяризуется (см. рис. 1). Возникающий при этом синаптический ток и служит сигналом обратной связи. Действительно, протекая вдоль синаптической щели, он создает на ней падение напряжения ($\Delta V_{щ}$). Для пресинаптической мембраны это означает уменьшение разности потенциалов на ней, т. е. дополнительную деполяризацию, увеличивающую выделение медиатора. Таким образом, в случае возбуждающего синапса обратная связь положительна и, следовательно, усиливает эффективность синаптической передачи.

Заметим, что электрическая обратная связь строго локальна и ограничена лишь самим активированным синапсом. На всей остальной мембране пресинаптического нейрона тот же самый синаптический ток если и вызывает какое-то падение напряжения, то только гиперполяризацию.

Качественно вопрос об электрической обратной связи ясен: она существует в любом химическом синапсе просто в силу его устройства. Сомнения вызывает только количественная сторона. Какое падение напряжения на межклеточной щели может создать синаптический ток? Измерить его непосред-

ственно трудно, так как ширина щели (20 нм) меньше толщины любого современного микроэлектрода. Однако, зная строение синапса и такие параметры нейронов, как проводимость активированной медиатором субсинаптической мембраны, мембранный потенциал, удельное сопротивление жидкости, заполняющей щель, можно попытаться рассчитать $\Delta V_{щ}$.

Такой расчет, сделанный нами, показал, что для маленького синапса (диаметр 0,3 мкм) плоской формы $\Delta V_{щ}$ меньше 0,5 мВ, т. е. в сотню раз меньше реальных изменений мембранного потенциала — говорить об эффективности электрической обратной связи не приходится⁴. С увеличением диаметра плоского синапса до 1 мкм $\Delta V_{щ}$ возрастает до 2—3 мВ. Но обратная связь становится действительно эффективной, когда синапс расположен на шипике. Для примера возьмем выросший в синаптическое окончание отросток горизонтальной клетки в сетчатке (как на рис. 1). В синапсе с диаметром шейки шипика 0,1 мкм, выросшего на глубину 1 мкм, $\Delta V_{щ}$ достигает десятков милливольт. Следовательно, чувствительность такого синапса может сильно увеличиваться за счет электрической обратной связи.

Хотя подобный расчет не учитывает всех факторов, определяющих падение напряжения на щели вблизи от синапса, он показывает, что идея электрической обратной связи вполне реальна. Более того, приведенные оценки неожиданно подтвердились очень давними расчетами Б. Катца⁵ на нервно-мышечном синапсе (между нервным и мышечным волокнами). Этот синапс можно рассматривать как плоский, но довольно большой по площади и немного как бы вдавленный в мышечное волокно. Пользуясь данными Катца о сопротивлении щели и величине синаптического тока, генерируемого концевой пластинкой возбужденной мышцы, легко оценить падение напряжения на щели — получается около 5 мВ. Интересно, что П. Фетт, соавтор Катца по изучению нервно-мышечной передачи, будучи гостем нашей лаборатории лет 15 назад, подтвердил, что с помощью тонкого микроэлектрода им иногда удавалось отвести откуда-то изнутри синапса постсинаптические потенциалы отрицательной полярности до

⁴ Byzov A. L., Shura-Bura T. M. Electrical feedback mechanism in the processing of signals in the outer plexiform layer of the retina // Vision Res. 1986. V. 26. N 1. P. 33—44.

⁵ Катц Б. Нерв, мышца, синапс. Л., 1967.

5 мВ, т. е. как раз то, что должно образовываться на синаптической щели.

Опираясь на результат расчетов, сначала проиграем ситуацию на модельном синапсе. Затем, оценив эффективность обратной связи и влияние на нее параметров самого синапса и постсинаптического нейрона в целом, посмотрим, насколько результаты соответствуют морфологическим и физиологическим данным о синапсах с переменной эффективностью в различных отделах нервной системы.

МОДЕЛЬ ХИМИЧЕСКОГО СИНАПСА

Для примера возьмем подробно прочитанную ранее модель синапса между фоторецептором (Ф) и горизонтальной клеткой (ГК) в сетчатке (рис. 3). Клетки разделены щелью ($R_{щ}$), по которой течет синаптический ток, создавая падение напряжения ($\Delta V_{щ}$), т. е. сигнал обратной связи. Главная часть синапса — химическая передача сигнала от фоторецептора к горизонтальной клетке. Вся описанная в начале статьи цепочка процессов (деполяризация пресинаптической мембраны, вход ионов Ca , выделение медиатора и открытие им катионных каналов субсинаптической мембраны) воспроизведена для простоты в виде единой функции, которая показывает зависимость проводимости субсинаптической мембраны (G) от потенциала на пресинаптической мембране (V_p). Выбранная функция вполне соответствует классическим представлениям о синаптической передаче, но ее точная форма малосущественна для интересующих нас расчетов.

На модели удобно регулировать величину обратной связи, меняя сопротивление щели ($R_{щ}$). Чем выше $R_{щ}$, тем больше на нем падение напряжения, тем сильнее обратная связь.

Попробуем теперь оценить, как влияет электрическая обратная связь на эффективность синаптической передачи. Мерилом эффективности удобно взять количество медиатора (M), пропорциональное проводимости субсинаптической мембраны (G) нейрона (рис. 4). Самая пологая кривая ($R_{щ}=0$) показывает выделение медиатора, когда обратной связи нет. Форма этой кривой зависит от выбранных параметров модели и нужна нам лишь для сравнения. С увеличением $R_{щ}$ крутизна кривых резко возрастает. Мы видим, что в рабочем диапазоне потенциалов в фоторецепторе (-60 — 40 мВ) эффективность синаптической передачи

(крутизна кривой) возрастает из-за электрической обратной связи во много раз.

Итак, работа модели подсказывает, что эффективно регулировать синаптическую передачу можно сопротивлением синаптической щели, определяющим величину положительной обратной связи в синапсах, например, изменяя глубину вращающегося шипика или его толщину и т. д. Эта теоретическая возможность приобрела черты реальности благодаря работе американских физиологов Р. Филдса и М. Элисмана на электрорецепторах ампул Лоренцини у рыб⁶.

Как и в фоторецепторах сетчатки, эти синапсы глутаматные (следовательно, возбуждающие), обладающие очень высокой чувствительностью к изменениям потенциала на пресинаптической мембране. В них также найдены пластичные шипики — вращающиеся рецепторной клетки в афферентное нервное волокно. Но, что самое важное, имеется положительная корреляция между длиной шипиков и чувствительностью синапсов. То же известно и для сетчатки рыб: после длительной (более 2 часов) темновой адаптации число и длина шипиков горизонтальных клеток в фоторецепторных окончаниях уменьшаются и одновременно в несколько раз снижается эффективность синаптической передачи⁷. Таким образом, есть по меньшей мере два примера, где предсказания модели электрической обратной связи оправдываются.

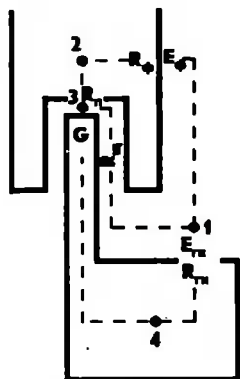
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В СИНАПСАХ МОЗГА

В море литературы по синапсам мозга и длительной потенциации мы ориентируемся в основном на два недавних обстоятельства и уже использованных выше обзора. Выделим главное. Синапсы с длительной потенциацией расположены обычно на шипиках дендритов постсинаптических нейронов. При этом, как и в электро- и фоторецепторах, шипики пластичны: многократная стимуляция афферентных путей, приводящая к длительной потенциации, увеличи-

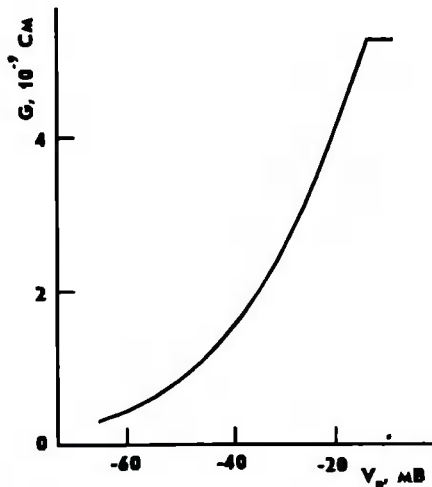
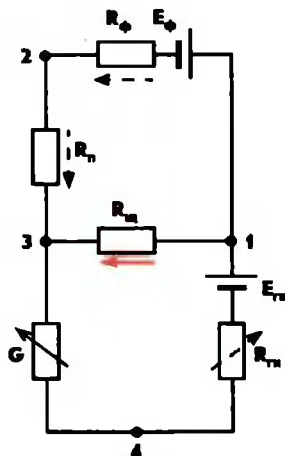
⁶ Fields R. D., Ellisman M. H. Synaptic morphology and differences in sensitivity // Science. 1985. V. 228. P. 197—199.

⁷ Weiler R., Wagner H.-J. Light-dependent change of cone-horizontal cell interaction in carp retina // Brain Res. 1984. V. 298. N 1. P. 1—9; Zhang J., Song X.-E., Wang H.-H., Yang X.-Li. Effects of prolonged darkness and background illumination on cone horizontal cells in carp retina. A correlative study of morphology and physiology // Acta Physiol. Sinica. 1992. V. 44. N 2. P. 155—163.

фоторецептор



горизонтальная клетка



вает ширину и длину головок и шеек шпиковов⁸.

Напомним, что предлагаемые гипотезы, связывающие длительную потенциацию с потенциал-управляемыми кальциевыми каналами и глутамат-управляемыми каналами NMDA-типа, пытаются объяснить увеличение синаптической эффективности постсинаптическими механизмами. Однако, по оценкам Л. Л. Воронина с соавт., этот механизм локализован главным образом пресинаптически и приводит к выделению большего количества медиатора в ответ на тот же входящий сигнал. Такой вывод соответствует гипотезе электрической обратной связи, которая, таким образом, получает экспериментальную поддержку. В рамках этой гипотезы можно было бы по-иному трактовать важную роль кальция в механизме возникновения длительной потенциации. Морфологическая пластичность шпиков тесно связана с наличием в них аппарата, включающего актин и миозин⁹. Активными регуляторами этих внутриклеточных структур, как известно, служат ионы кальция.

Кроме перечисленных качественных результатов в пользу работающего в синапсах мозга механизма электрической обратной связи можно привести и некоторые количественные оценки. Они основаны на многочисленных литературных данных с привлечением простой геометрии. Обосновывая частичную электрическую изоляцию

Рис. 3. Модель синапса между фоторецептором и горизонтальной клеткой в сетчатке позвоночных (слева) и его эквивалентная электрическая схема. Фоторецептор со своей батарейкой потенциала покоя ($E_{\phi R}$) и сопротивлением пресинаптической мембраны (R_{ϕ}). Горизонтальная клетка также со своей батарейкой ($E_{\psi R}$) и проводимостью субсинаптической мембраны (G). Клетки разделены щелью (R_{ψ}), падение напряжения на которой при протекании через нее синаптического тока служит сигналом электрической обратной связи (цветная стрелка). 1 — внеклеточная среда; 2 — фоторецептор; 3 — синаптическая щель; 4 — горизонтальная клетка. Вся цепочка передачи сигнала моделируется функцией (справа), показывающей зависимость проводимости субсинаптической мембраны (G) от потенциала на пресинаптической мембране (V_{ϕ}). Проводимость можно приравнять к количеству выделенного из фоторецептора медиатора.

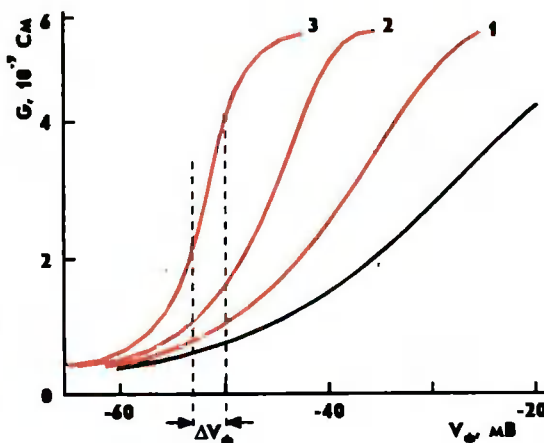


Рис. 4. Эффективность синаптической передачи при разном сопротивлении синаптической щели: 1 — $0,5 \cdot 10^5$ Ом; 2 — $1 \cdot 10^5$ Ом; 3 — $1,5 \cdot 10^5$ Ом. Черная кривая — базовая, при $R=0$. Чем круче кривая, тем большее количество медиатора выделяется в ответ на скачок потенциала (ΔV_{ϕ}) в пресинаптической нейроне.

⁸ Fikova E., Anderson C. L. Stimulation-induced changes in dimensions of stalks of dendritic spines in the dentate molecular layer // *Exp. Neurol.* 1981. V. 74. P. 621—627.

⁹ Morales M., Fikova E. In situ localization of myosin and actin in dendritic spines with the immunogold technique // *J. Comp. Neurol.* 1989. V. 279. P. 666—674.

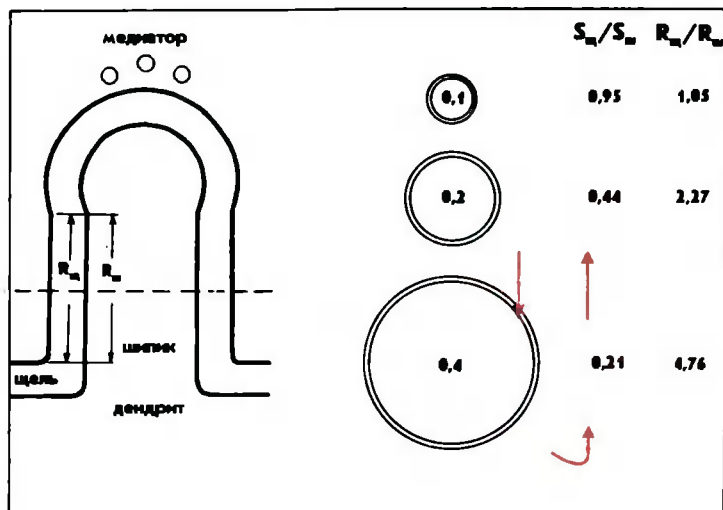


Рис. 5. Схема шипика с синапсом на вершине. Штриховая линия показывает сечение шейки шипика; $R_{щ}$ и $R_{ш}$ — сопротивление щели и шипика соответственно. Цветные стрелки — синаптический ток. Справа — отношение площадей поперечных сечений щели и шейки шипика ($S_{щ}/S_{ш}$) и их продольных сопротивлений ($R_{щ}/R_{ш}$) для шипиков разного диаметра в мкм.

полости шипика от дендрита постсинаптического нейрона, многие авторы на основе электронно-микроскопических фотографий рассчитывали продольное сопротивление шейки шипика. В разных отделах мозга минимальная толщина шейки колеблется от 0,06 до 0,77 мкм, а рассчитанное сопротивление с учетом длины шипика — от 23 до 650 МОм. Из этого мы и можем исходить, оценивая сопротивление щели около синапсов.

Весь синаптический ток, генерируемый находящимся на вершине шипика синапсом, протекает не только через шейку шипика, но и через межклеточную щель вокруг шейки (рис. 5). Не представляет труда оценить отношение площадей поперечных сечений окружающего цилиндра кольца (щели) и самого цилиндра (шипика). Учтем, что толщина межклеточной щели постоянна (20 нм), независимо от диаметра шипика. С увеличением диаметра цилиндра отношение площади сечений ($S_{щ}/S_{ш}$) уменьшается, так как площадь кольца постоянная пропорциональна диаметру, а площадь круга — его квадрату. При диаметре шипика 0,1 мкм отношение близко к 1, при 0,2 мкм оно уменьшается до 0,44, при 0,4 мкм — до 0,21. Отношение продольных сопротивлений кольца и цилиндра ($R_{щ}/R_{ш}$) обратно отношению сечений. Отсюда очевидный вывод: в диапазоне диаметров шипиков от 0,1 мкм и выше сопротивление щели равно или в несколько раз выше сопротивления самих шипиков. Следовательно, рассчитанное сопротивление шейки шипиков (23—650 МОм) при пересчете

на сопротивление щелей существенно повышается. Напомним, что в нашей модели синапса фоторецептор — горизонтальная клетка, где электрическая обратная связь очень эффективна, сопротивление щели было 150 МОм, т. е. приходилось на середину указанного диапазона.

Конечно, эти количественные оценки очень приблизительны. Они не учитывают ряда факторов, от которых зависит сопротивление щели и падение напряжения на ней. Так, по электронно-микроскопическим данным, щель бывает заполнена каким-то плотным, возможно плохопроводящим, материалом, она также может быть «заткнута» снаружи мембранами глиальных клеток — оба фактора увеличивают электрическую обратную связь. Величина синаптического тока зависит от площади активной субсинаптической мембраны, которая также меняется в процессе работы синапсов. Во всяком случае, подобные оценки скорее поддерживают, чем опровергают реальность механизма электрической обратной связи в регуляции эффективности синаптической передачи в синапсах мозга.

ОПЕРАТИВНОЕ НЕЙРОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Как ни покажется странным, этот наиболее интересный и сложный тип регуляции синаптической эффективности был экспериментально обоснован чуть ли не раньше всех других. Еще в 1967 г. в статье «Горизонтальные клетки сетчатки — регуля-

торы синаптической передачи»¹⁰ обсуждались описанные морфологами «триадные» синапсы между фоторецепторами и нейронами следующего уровня — биполярными и горизонтальными клетками¹¹. Отростки горизонтальных и биполярных клеток врастают внутрь окончания фоторецептора, образуя единый синаптический комплекс (см. рис. 2, в). Активная синаптическая зона с синаптическими пузырьками, располагающимися, как и в электрорецепторах, по сторонам от синаптической ленты (никто не знает, зачем она нужна), находится у самой вершины триады напротив места стыка отростков постсинаптических нейронов. Важно, что в этом синапсе один и тот же медиатор фоторецептора действует сразу на два (или более) постсинаптических нейрона. Но это не просто разветвление сигнала по двум разным путям. Взаимодействие здесь более сложное: биполярные клетки передают сигналы от фоторецепто-

ров к выходным клеткам сетчатки — ганглиозным — и дальше в мозг, а горизонтальные, похоже, не имеют морфологически обособленных выходов. Их выход там же, где и вход — во врастающих в фоторецепторные окончания отростках. Притом морфологи, несмотря на большие старания, никаких химических синапсов обратно к фоторецепторам не обнаружили.

В основу всех последующих исследований электрической обратной связи лег эксперимент, в котором были изучены взаимодействия всех элементов триадного синапса (рис. 6). Сетчатку черепахи раздражали светом, возбуждающим фоторецепторы. От них сигнал через триадные синапсы передавался биполярным клеткам. Суммарный электрический ответ этих клеток (так называемая локальная электроретинограмма — ЭРГ) регистрировали с помощью микроэлектрода, расположенного в слое биполярных клеток. Второй микроэлектрод (стеклянная микропипетка диаметром 0,5 мкм или меньше, заполненная проводящим солевым раствором), введенный внутрь горизонтальной клетки, регистрировал ее ответ на свет — гиперполяризацию. Через этот же микроэлектрод можно было пропускать электрический ток, который в зависимости от направления увеличивал или уменьшал мембранный потен-

¹⁰ Бызов А. Л. Горизонтальные клетки сетчатки — регуляторы синаптической передачи // Физиол. журн. СССР им. И. М. Сеченова. 1967. Т. 53. № 9. С. 1115—1124.

¹¹ Боровягин В. Л. Субмикроскопическая морфология и структурная взаимосвязь рецепторных и горизонтальных клеток сетчатки низших позвоночных // Биофизика. 1966. Т. 11. С. 810—817.

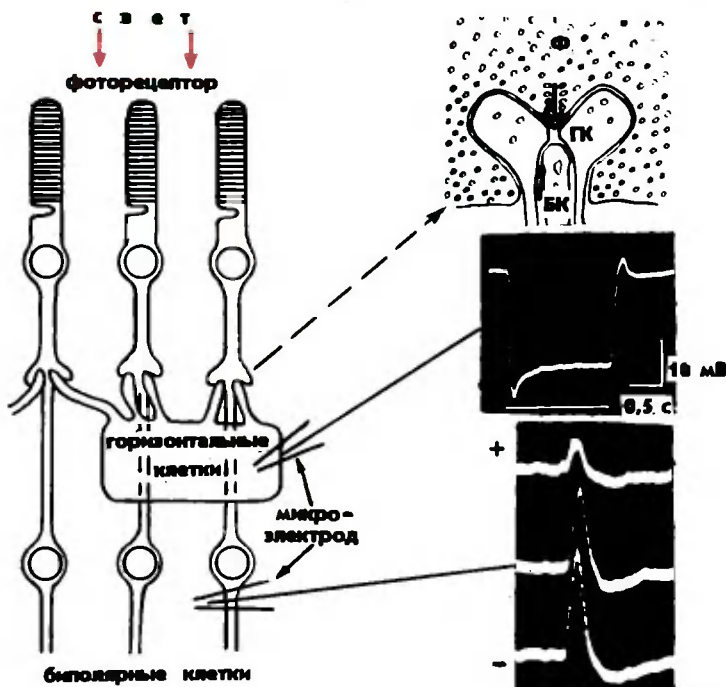


Рис. 6. Схема опыта, иллюстрирующего роль горизонтальных клеток [ГК] сетчатки черепахи как регулятора эффективности синаптической передачи с фоторецепторов [Ф] к биполярным клеткам [БК]. Справа сверху — схема триадного синапса; в середине — реакция горизонтальной клетки на освещение; внизу — запись ответа на выключение света в слое биполярных клеток. Деполяризация горизонтальной клетки через введенный в нее микроэлектрод уменьшает ответ биполярных клеток (+), а гиперполяризация — увеличивает (-).

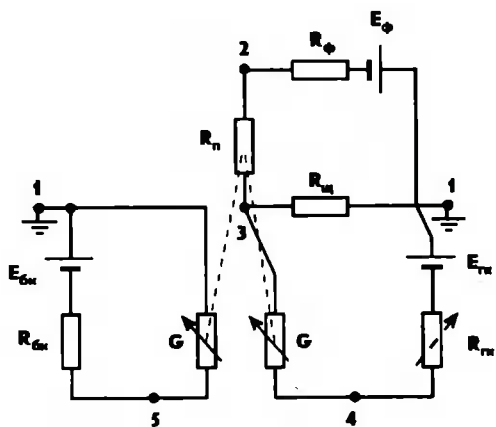
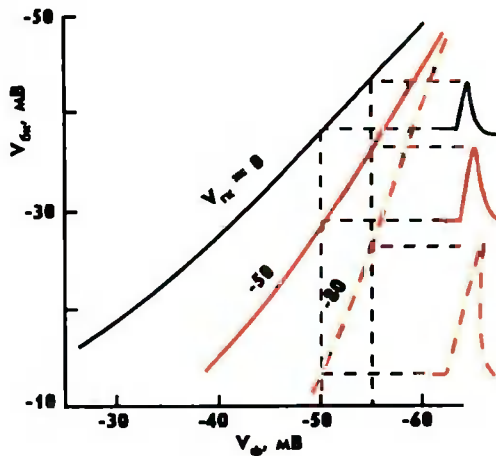


Рис. 7. Электрическая схема модели триадного синапса сетчатки, включающего кроме горизонтальной и bipolarную клетку, проводимость субсинаптической мембраны (G) которой управляется тем же медиатором фоторецептора, что и горизонтальная. Справа — зависимость мембранного потенциала bipolarной клетки $[V_{Бк}]$ от мембранного потенциала фоторецептора $[V_{Ф}]$ при разных значениях потенциала в горизонтальной клетке.

циал горизонтальной клетки. Результат опыта таков: увеличение мембранного потенциала горизонтальной клетки сильно увеличивало суммарный электрический ответ на тот же световой стимул, а уменьшение потенциала — уменьшало его.

Таким образом, горизонтальная клетка посредством своего мембранного потенциала эффективно управляет передачей сигнала от фоторецепторов к bipolarным клеткам. Эффективность передачи тем выше, чем больше мембранный потенциал в горизонтальной клетке — регуляторе, работу которой можно сравнить с сеткой радиолампы.

Конечно, объяснение такого влияния горизонтальных клеток на синаптическую передачу существовало уже во время проведения опытов. Собственно, и опыт-то был поставлен прицельно, с большим шансом на успех. Может быть, именно это понимание привело к тому, что количественные модели такого синапса сильно задержались. Лишь через 11 лет была собрана аналоговая модель из электрических элементов: сопротивлений, батарей и транзисторов¹², а еще через 8 лет — такая же, но уже



компьютерная модель, расширяющая возможность проигрывания различных ситуаций и вариантов¹³.

А объяснение механизма управления синапсом основано на той же простой идее электрической обратной связи. Синаптический ток, генерируемый горизонтальной клеткой, создавая падение напряжения на щели около синапса, дополнительно деполаризует пресинаптическую мембрану и тем самым усиливает выделение из нее медиатора в ответ на тот же сигнал от фоторецептора. Но этот же медиатор управляет и bipolarными клетками, поэтому также увеличивается и их ответ. Чем выше мембранный потенциал в горизонтальной клетке (а он поддерживается за счет окружающих горизонтальных клеток), тем больше его синаптический ток при открывании данного синапса, тем эффективнее электрическая обратная связь усиливает передачу сигнала между фоторецептором и bipolarном.

Количественная модель триадного синапса (рис. 7) лишь ненамного сложнее предыдущей схемы для обычного синапса (см. рис. 3). В нее добавлена только bipolarная клетка, синапс которой управляется по тому же закону тем же самым медиатором фоторецептора. Зависимость мембранного потенциала bipolarной клетки ($V_{Бк}$) от потенциала в фоторецепторе ($V_{Ф}$) сильно меняется при разных мембранных потенциалах в горизонтальной клетке ($V_{Гк}$). Чем больше $V_{Гк}$, тем круче кривая, тем эффективнее синаптическая передача к bipolarным клеткам (рис. 7).

¹² Бызов А. Л., Голубцов К. В. Модель нейрона — регулятора эффективности синаптической передачи // Биофизика. 1978. Т. 23. № 1. С. 119—125.

¹³ Byzov A. L., Shura-Bura T. M. Op. cit.

Чем хорош предложенный механизм электрической обратной связи в синапсах? В первую очередь, тем, что он универсален, т. е. присущ любым химическим синапсам просто в силу их физического устройства. Было бы странным, если бы природа не воспользовалась такой возможностью для управления, где это надо, эффективностью синаптической передачи. Может быть, именно в этом причина того, что синапсы, расположенные на шипиках разного рода, так распространены во многих отделах периферической и центральной нервной системы. А шипики, как мы видели, весьма пластичны: они могут менять свою форму и глубину вращаения под влиянием входящих сигналов или иных регулирующих факторов и, по-видимому, даже имеют для этого специальный аппарат.

Конечно, механизм электрической обратной связи не исключает существования других факторов, влияющих на эффективность синаптической передачи: ионных, химических. Существует целый комплекс таких факторов, подробно описанный Д. П. Матюш-

киным¹⁴. Речь идет лишь о том, что электрическая обратная связь становится в ряд этих факторов, причем, как показывают количественные оценки, далеко не на последнем месте. Более того, в отношении синапса между фоторецепторами и нейронами второго порядка сетчатки позвоночных имеется экспериментальное доказательство электрической, а не химической природы обратной связи¹⁵.

В то же время автор должен признать, что пока только он сам и несколько его друзей, физиков по образованию, разделяют столь определенную точку зрения. Трудно сказать, почему это так. Во всяком случае, сколько-нибудь серьезной критики гипотезы в литературе просто не было. Цель настоящей статьи — выйти за пределы узкого круга специалистов — «синаптологов» — и найти более широкий, конструктивный круг оппонентов.

¹⁴ Матюшкин Д. П. Обратные связи в синапсе. М., 1989.

¹⁵ Бызов А. Л., Полищук Н. А. О механизме обратной связи от горизонтальных клеток к фоторецепторам: химическая или электрическая гипотеза? // Сенсорные системы. 1987. Т. 1. № 4. С. 344—352.

НОВОСТИ НАУКИ

Медицина

Вакцинация против туберкулеза

Живая туберкулезная вакцина (БЦЖ), предложенная в 1926 г. французскими учеными А. Кальметом и К. Гереном, получила всемирное признание. Ее применение значительно снизило заболеваемость туберкулезом во всех странах мира. Считается, что вакцинация БЦЖ в 80 % случаев предохраняет от этого заболевания, а в остальных — смягчает его течение. Принято вакцинировать всех новорожденных, у которых иммунитет к туберкулезу сохра-

няется около пяти лет, а затем постепенно угасает. Поэтому прививку повторяют в 7 и 12—13 лет.

За последние 20 лет в Англии уровень заболеваемости и смертности от туберкулеза снизился на столько, что специалисты предлагают отменить ревакцинацию БЦЖ в 13 лет. Однако до принятия решения, видимо, еще далеко. Развернулась широкая дискуссия о возможности изменении программы иммунизации населения против этой инфекции.

Эксперты ВОЗ рекомендуют в странах, где заболеваемость туберкулезом велика, продолжать иммунизировать БЦЖ новорожденных и маленьких детей, поскольку эта вакцина высокоэффективна в преду-

ждении тяжелых форм болезни, безопасна и дешева. В Великобритании и других развитых странах с низким уровнем заболеваемости туберкулезом прививки нельзя отменять в группах высокого риска (иммигранты, их новорожденные дети и люди, контактирующие с больными туберкулезом). А в связи с угрозой вспышки эпидемий, обусловленных штаммами туберкулезных бактерий с устойчивостью к многим препаратам у ВИЧ-инфицированных, целесообразно вакцинировать медицинский персонал и другие группы населения, подвергающиеся риску заражения.

British Medical Journal. 1993. V. 306. N 6872. P. 221—222 (Великобритания).



ЧТО ТАКОЕ «ЛОГУС», Или зачем экологу компьютер?

В настоящее время наблюдается естественный рост интереса российских экологов к использованию компьютерных информационных технологий для обработки информации о состоянии окружающей природной среды. Естественный потому, что для этого в стране созданы все предпосылки.

Во-первых, за пять лет работы территориальных природоохранных органов системы Минприроды России накоплены огромные объемы самой разнообразной информации о состоянии окружающей среды, которые уже невозможно далее эффективно обрабатывать вручную.

Во-вторых, в природоохранных организациях, как и во всей стране, завершается бум оснащения персональными компьютерами - они исчисляются уже десятками в областных, краевых и республиканских комитетах и имеются почти в каждом крупном городском или районном комитете.

И в-третьих, что далеко не последнее, в России исчез дефицит программистов, более того, благодаря конверсии «оборонки» их число и качество на свободном рынке труда растет с каждым днем, так что даже при тех не очень высоких окладах, которые могут им предложить в природоохранных органах, они идут туда в последнее время весьма охотно.

Единственное, что до сих пор сдерживало «обвальную компьютеризацию» природоохранной деятельности в России - это отсутствие совместимых, а лучше единых для всех территориальных комитетов программных средств (ПС), которые могли бы эффективно использоваться людьми столь далекой от математики профессии, как экология.

Однако «свет в конце тоннеля» здесь появился, и его уже может наблюдать каждый, кто захочет увидеть. Имеется в виду беспрецедентное внедрение в российских территориальных природоохранных комитетах программных средств, разработанных научно-производственным предприятием «Логус». Беспрецедентное как по масштабам, так и по способу внедрения: единые полностью совместимые программные средства разработаны и установлены за последние три года в 46 областных, краевых и республиканских комитетах системы Минприроды Российской Федерации (всего в России комитетов такого уровня - 86) силами небольшой негосударственной организации, практически без поддержки и протектирования со стороны Минприроды и, что весьма немаловажно, - без каких бы то ни было затрат федеральных бюджетных средств на разработку и внедрение этих программных средств.

Среди пользователей указанных ПС сегодня многие областные природоохранные комитеты России: Кировский, Ивановский, Владимирский, Вологодский, Псковский, Мурманский, Архангельский, Калужский, Волгоградский, Оренбургский, Челябинский, Омский, Тюменский, Кам-



чатский, Амурский, Читинский, Магаданский и др.; Приморский и Хабаровский краевые комитеты; Карякский, Чукотский, Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий окружные комитеты; Карельское, Адыгейское, Бурятское, Чувашское, Мордовское, Дагестанское республиканские министерства; объединенный комитет Санкт-Петербурга и Ленинградской области: десятки городских и районных комитетов, среди которых, например, комитеты таких крупных городов, как Пермь, Саратов, Череповец, Комсомольск-на-Амуре; множество крупных предприятий, организаций и ведомств: концерн «Норильский никель», Госкомнефтехимпром, Госкомоборонпром, ГУИН МВД, а также ряд высших учебных заведений, в том числе – МГУ, МЭИ, Академия химической защиты, Владимирский политехнический институт и др. Это перечисление может показаться затянутым, но столь длинный список приведен сознательно: показывая географию и масштабы внедрения единых, полностью совместимых ПС, мы пытаемся подвести читателя к мысли, что сегодня уже созданы предпосылки к организации единого информационного пространства в природоохранной деятельности в России и, вообще-то, давно определились и подход к созданию ПС в этой области, и лидер среди их разработчиков.

Так что же такое «Логус» и что это за программные средства, которые смогли с такой стремительностью завоевать доверие российских экологов и разойтись по городам и весям нашей обширной страны без постановлений и кредитов от правительства и даже без приказов Минприроды РФ. Этот вопрос, как представляется, может быть достаточно интересен для многих, и мы попытаемся ответить на него.

Научно-производственное предприятие «Логус» как фирма, занимающаяся разработкой программного обеспечения в области природоохранной деятельности, родилось в 1989 г., в момент становления российской Госкомприроды и ее территориальных органов и до 1991 г. называлось Центром экологической информации РСФСР при НПО «Экологические решения РСФСР». Учредителями этого НПО были тогда Госкомприрода РСФСР и Академия наук СССР. В июне 1991 г. после бури реорганизаций российских и союзных ведомств и модного тогда движения создания малых предприятий Центр экологической информации РСФСР превратился в научнопроизводственное предприятие «Логус». Название предприятия родилось из наименования одного из служебных полей в стандарте наших баз данных – поля «LOGUS», которое несет в себе функцию логических проверок записываемой в базу информации, и наименование которого, в свою очередь, состоит из двух слов – «ЛОГические УСловия». Это нам показалось тогда весьма благозвучным, а главное, не совсем избитым, другого смысла в этом названии нет. Среди сотрудников предприятия – десяток программистов высокого класса, вышедших из недр все той же «оборонки», наряду с ними есть и профессиональные экологи, химики, геологи. Количество постоянных сотрудников за эти годы практически не менялось и не превышало двадцати, однако были моменты, когда штат исполнителей увеличивался в несколько раз за счет специалистов, привлекаемых к работе на договорных началах.

Деятельность предприятия началась с изучения работы отдельных территориальных природоохранных комитетов, их конкретных текущих

ЛОГУС

проблем и попытки идти от частного к общему - т.е. создавая конкретные информационные компьютерные системы для конкретных комитетов, попытаться получить в итоге нечто общее для всей системы природоохранных органов страны в целом. Начиная с 1989 г. фирма стала проводить на договорной основе работы по созданию и внедрению в областных, краевых и республиканских комитетах отдельных элементов компьютерных информационных систем для контроля за состоянием окружающей среды и управления природопользованием. В основном это были автоматизированные рабочие места (АРМ) для специалистов разных отделов комитета, а также базы и банки данных как с экологической, так и со справочной, нормативной и методической информацией в области охраны окружающей среды и природопользования.

Широкое внедрение наших разработок стало возможным, на наш взгляд, в первую очередь благодаря тому, что мы не стали программировать разные задачи по-разному, как это делали и делают до сих пор многие софтверные фирмы, а попытались найти комплексный подход к самой проблеме экологической информации и ввели единый информационный стандарт данных. На этой основе было построено универсальное ядро всех разработанных предприятием программных средств - система управления базами данных (СУБД) высокого уровня «ZBASE». Будучи единой для всех приложений, она одновременно **максимально проста**, поскольку с самого начала строилась в расчете на пользователя-непрограммиста; **высоконадежна**, так как отлажена на самых разнообразных приложениях и в самых разных условиях работы; практически **полностью открыта для пользователя**, т.е. позволяет гибко изменять структуру приложений; и **некритична для перехода на другие программные средства**, поскольку использует обычный стандарт файлов DBF, наиболее распространенный сейчас при построении информационных систем, и поэтому содержимое баз и банков данных может быть в любое время без больших затрат «перекачено» в другие программные оболочки.

На основе разработанной СУБД «ZBASE» специалистами предприятия был создан целый пакет программных средств - «инструментов для непрограммистов»: конструктор баз данных, конструктор выходных форм, конструктор входных форм. Основное их назначение - не только дать возможность непрограммистам работать с уже готовыми системами баз данных (что было целью создания и достигнуто при разработке СУБД), но главное - самостоятельно создавать силами тех же непрограммистов (но специалистов в своей области знаний - в экологии, где они значительно сильнее программистов!) новые АРМы и системы баз данных, а также разнообразные формы обработки и выдачи информации, содержащейся в базе данных. Когда разработанный пакет программ дошел до природоохранных организаций, оказалось, что он нужен там не только непрограммистам: СУБД «ZBASE», в совокупности с разработанным на ее основе «инструментарием» оказалась весьма кстати и программистам, поскольку являла собой в некотором смысле прообраз того долгожданного универсального программного пакета, который не только не умаляет роли программиста в «непрограммирующей» организации, но и позволяет ему сосредоточиться непосредственно на «высоком» программировании сложных проблем

ЛОГУС

и задач, освобождая от большого объема рутинной и непроизводительной работы по написанию и отладке однотипных программ.

Последней разработкой предприятия на основе СУБД «ZBASE» является программа «ZMAP» – очень серьезная программа картографического отображения экологической информации из баз данных стандарта «ZBASE» на картах-схемах. Она полностью замкнула всю цепочку создания «инструментария для непрограммистов», и это дает сейчас реальную возможность наконец-то и «простому российскому экологу» приобщиться к тем высоким компьютерным информационным технологиям (включая столь давно вожделенную, но ранее практически недоступную нашим природоохранным организациям ГИСтехнологию), которые давно уже используют его более «компьютернопросвещенные» западные коллеги.

В настоящее время мы считаем, что завершился определенный этап нашей работы, связанный с созданием и доведением до промышленного внедрения основных компонентов системы «ZBASE» и ее приложений. Сегодня более половины самых разных в географическом и экологическом отношении регионов России используют для информационного обеспечения природоохранной деятельности единые программные средства, стыкуемые между собой по всем параметрам. И теперь есть основание считать, что можно без особых дополнительных затрат создавать как региональные, так и межрегиональные информационные компьютерные системы для управления природоохранной деятельностью.

Несмотря на то, что СУБД «ZBASE» и ее приложения, как описано выше, столь хороши и столь широко внедрились в российских природоохранных организациях и еще будут, безусловно, развиваться и внедряться дальше, нам совершенно очевидно, что компьютеризация природоохранной деятельности не исчерпывается только тем, что создал «Логус». Сегодня крайне необходимо объединить усилия всех организаций, работающих в этой области. Минприроде России следовало бы наконец-то уделить этому вопросу достаточное внимание, как и заметить со своих высот и НПП «Логус».

Мы готовы и дальше принимать активное участие в процессе компьютеризации природоохранной деятельности и предоставить свой опыт заинтересованным органам – как в организационном плане, так и в плане разработок. Мы готовы также участвовать в развитии новых перспективных направлений в информатизации природоохранной деятельности, например в области создания единой телекоммуникационной системы для природоохранных организаций, единых общедоступных банков данных справочной и экологической информации и др.

Главное – чтобы государственные чиновники, отвечающие за компьютеризацию природоохранной деятельности (и получающие за это деньги), наконец-то осознали, что сегодня опираться при решении этого вопроса только на госпредприятия – уже недостаточно, и надо сплотить усилия всех, кто может помочь российскому экологу перейти с компьютером на «ты».

Выиграют от этого все. А может быть, и окружающая среда станет чище...

Уникальный палласит планеты

Ю. А. Колясников,

кандидат геолого-минералогических наук

А. А. Пляшкевич,¹

Н. Е. Савва,

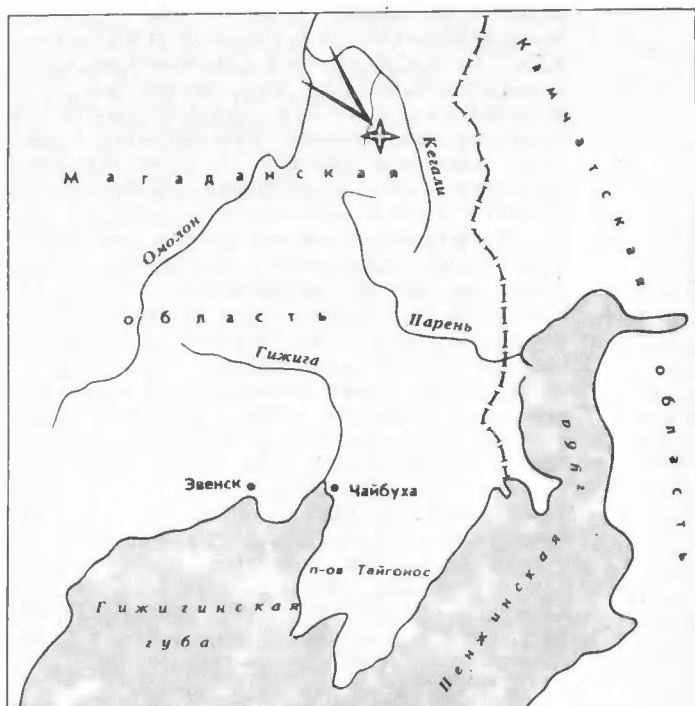
кандидат геолого-минералогических наук

Северо-восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН
Магадан

ИСТОРИЯ падения и находки. В предутренние часы 16 мая 1981 г. в верхнем течении р. Омолон (Магаданская область) несколько человек наблюдали яркий болид, с гулом и грохотом пронесшийся с северо-запада в верховье р. Кегали. Ближе всех к месту падения будущего метеорита находился пастух совхоза «Пареньский» Иван Тынавы. Поскольку именно в этот момент техник метеостанции «Омолон» К. М. Чередниченко наблюдал погоду, стало известно точное время пролета болида — 5 час. 10 мин. местного времени.

Больше года спустя все тот же Иван Тынавы, бродивший в поисках отколовшейся части оленьего стада, обнаружил сам метеорит. Он лежал на гребне водораздела с отметкой 900 м в небольшой воронке поперечником 1 м и глубиной 0,5 м. Лишь через восемь лет экспедиции Северо-восточного комплексного научно-исследовательского института (СВКНИИ) удалось переправить основную массу метеорита весом 250 кг в музей института. При обследовании места падения летом 1990 г. выяснилось, что начало земной жизни этого космического пришельца было отмечено очень редким стечением обстоятельств — это и компактность идеальной формы метеорита, и его состав, и характер самого падения, и даже место удара о землю.

В собранном виде метеоро-



Район падения метеорита «Омолон».



Место находки



Направление полета метеорита

рит, оказавшийся палласитом¹, имеет форму четырехгранной

¹ Палласиты — редкий тип железокаменных метеоритов, названный по первому сохранившемуся метеориту такого типа — Палласову железу. Палласиты состоят из приблизительно равных количества никелистого железа и оливина.

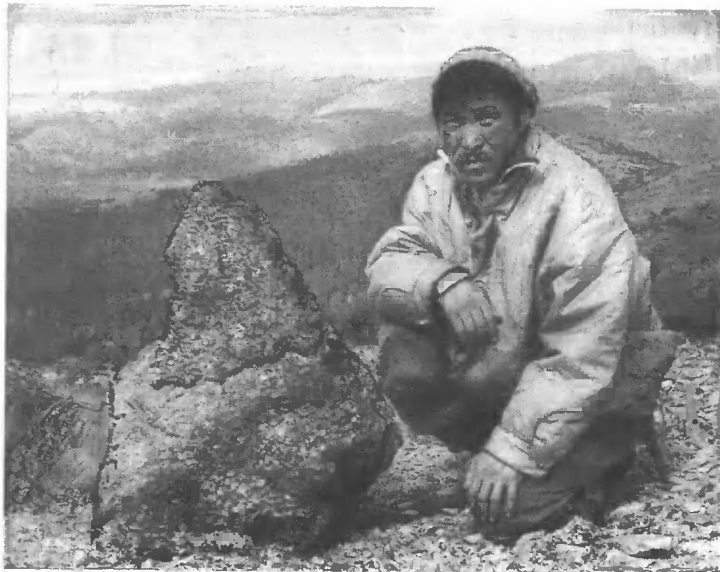
пирамиды, в крупных индивидах обычно не сохраняющуюся из-за их разрушения при прохождении через плотные слои атмосферы. Основная его масса (около 200 кг) лежала в воронке, а передняя часть, имевшая форму клюва, была при ударе оторвана и вместе с несколькими обломками отброшена на 1 м. Благодаря выразительности воронки и четкой ориентации вала выдавленного при падении, расплавленного ударом мерзлого элювиального грунта, удалось определить направление полета этого метеоро-

рита, получившего название «Омолон»².

Состав и строение метеорита. Палласит «Омолон» представляет собой своеобразную губку, каркас которой сложен никелистым железом, а пузыри размером 1—3 см и меньше заполнены прозрачным желтовато-зеленым оливином (ювелирная его разновидность называется хризолитом). Большая часть кристаллов оливина имеет естественную «оливиновую» огранку, хотя обычно в палласитах преобладает округлая или оскольчатая форма выделений оливина. Соотношение его с железом каркаса варьирует в достаточно широких пределах (от 20 до 80 % оливина в разных участках палласита), составляя в среднем 1:1.

Поступивший первым в музей СВКНИИ фрагмент метеорита «Омолон» весом 2 кг и размером 6×7×9 см имеет угловатую поверхность с многочисленными острыми выступами никелистого железа серебристо-белого цвета, окружающими выкрошившиеся зерна оливина. Одна сторона его покрыта тонкой (до нескольких миллиметров) черной оплавленной коркой, причем струйчатые натечные формы металла (регмалиты) видны и на пришлифованной поверхности распила. Нами детально исследованы два таких выступа и один фрагмент распила. Кроме преобладающих оливина и железа в составе палласита входят шрейберзит и рабдит (фосфиды железа и никель), троилит (сульфид железа) и хромит.

Кристаллы оливина в большинстве случаев имеют идиоморфные очертания со слегка округленными (оплавленными) ребрами и гранями. Размеры обособлений варьируют от 1—3 мм до 1—3 см. Для мелких включений оливина в никелистом железе характерна округлая каплевидная форма. В изученном фрагменте оливин составляет 60—65 % объема. Обломки кристаллов оливина, типичные для некото-



Автор находки И. Тынавы у метеорита «Омолон».

рых палласитов, в нашем метеорите не обнаружены. Цвет оливина зеленовато-желтый, он прозрачен, разбит многочисленными трещинами, образовавшимися как в момент встречи метеорита с Землей, так и при его соударении с подобными телами в космическом пространстве.

Часто в зернах оливина содержатся округлые и каплевидные микровключения, представленные сростаниями камасита и троилита, реже — их сростаниями с хромитом. Судя по определениям, выполненным на микрозонде, оливин метеорита «Омолон» имеет существенно магниевый состав, что типично для палласитов.

Вторым важным компонентом палласита «Омолон» является разновидность никелистого железа — камасит (7 % Ni), составляющий до 30 % его объема. В большом полированном фрагменте на протравленной поверхности хорошо различима видманштеттенова структура — пересекающиеся балки камасита шириной 0,1—0,3 мм. Более богатый никелем тэнит (30—36 % Ni) составляет лишь 3—4 % исследован-

ной площади метеорита, окаймляя балки камасита, между которыми располагается плессит (тонкозернистые закономерные сростания камасита и тэнита).

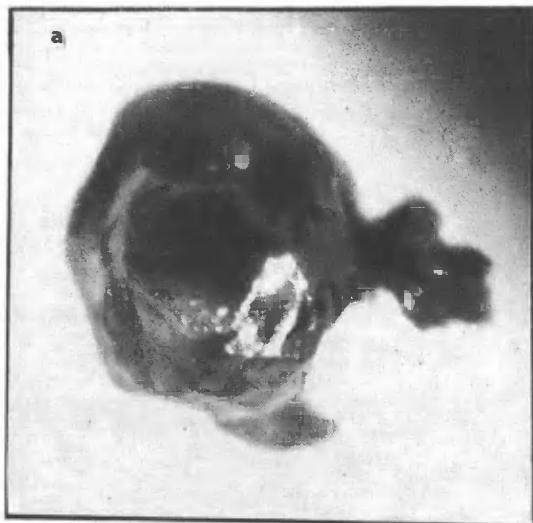
Таким образом, метеорит «Омолон» представляет собой типичный палласит, по составу минеральных фаз и структурам вполне сопоставимый с палласитами главной группы³. В то же время в его структуре выявляется ряд особенностей, которые можно объяснить неоднократными ударными воздействиями, сопровождавшимися разогревом (например, грануляция выделений никелистого железа).

Чем же все-таки интересен «Омолон»? Что он может дать науке? Прежде всего поражает почти невероятное сочетание ряда факторов, способствовавших сохранности метеорита при падении. Кроме того, изучение нового палласита предоставило в руки исследователей уникальный материал, позволивший выделить два различных вида сферул, рассмотреть различия в механизмах их образования.

Сферулы — мелкие магнитные шарики, давно привлекающие внимание ученых. Они

² Подробнее об истории падения и находки метеорита «Омолон» см.: Колясников Ю. А. // Химия и жизнь. 1991. № 4. С. 50—51.

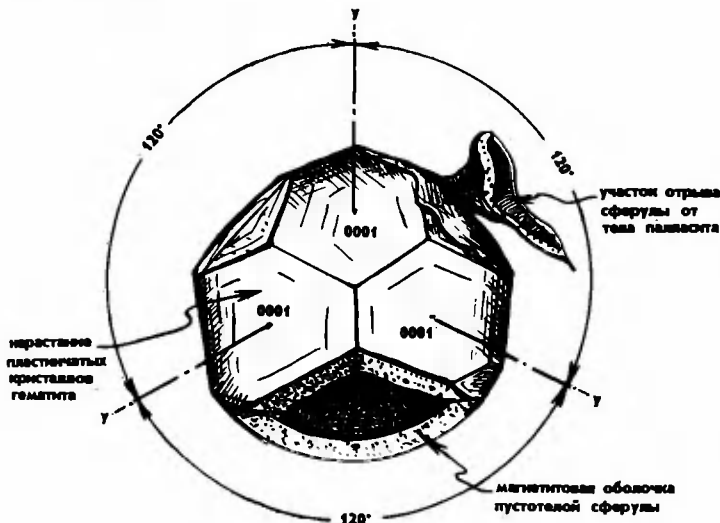
³ Пляшкевич А. А. и др. // Докл. АН СССР. 1991. Т. 318. С. 197—202.



Строение сферулы палласита «Омолон»: а — морфология псевдоограненной пустотелой магнетитовой сферулы (увел. 100); б — схема формирования псевдоогранки сферулы за счет нарастающих пластинчатых кристаллов гематита.

ления метеорита. «Горлышки» колбообразных сферул есть не что иное, как участки прикрепления каплей окисного железа, которые стремились оторваться от коры плавления и, возможно, завершить формирование сферы. На поверхности отдельных каплей образуются пластинчатые кристаллы гематита, создающие псевдоогранку. Пластинки гематита, располагаясь перпендикулярно к поверхности сферы, в местах сочленения образуют ребра, а равномерное расположение этих пластинок по поверхности сферы придает им облик гексагональных граней. На самом же деле гематит представляет собой вторичное образование, нарастающее на поверхности магнетитовой сферулы. По-видимому, это происходит на контакте расплава с водобильным талым грунтом.

б



встречаются и в местах падения метеоритов, и в районе Тунгусской катастрофы, и во вполне земных образованиях — протоочках горных пород, аллювии современных водотоков. Так что тайна их происхождения еще далеко не разгадана.

В палласите «Омолон» обнаружены два вида сферул. Во-первых, это пустотелые магнитные шарики, колбочки и гантелеобразные разновидности, наиболее часто обнару-

живаемые в ударных структурах, именуемых астроблемами. Во-вторых, это цельнометаллические шарики диаметром от 50 мкм до 1,5 мм. (На крупных шариках этого типа нередко имеются проволоковидные отростки.) Наряду со сферулами встречаются также каплевидные и сферические выделения оливинового стекла.

Сферулы первого типа, сложенные почти целиком окислами железа (таблица), обнаружены на поверхности пла-

Вторая разновидность сферул — цельнометаллические шарики, которые встречаются внутри крупных (5—20 мм в поперечнике) кристаллов оливина, располагаясь зачастую по зонам их роста. Более крупные сферулы распределены незакономерно, хотя нередко они оказываются на участках пересечения трещин в оливине. Можно предположить, что трещины в хрупком минерале концентрировались при его деформациях вокруг включений — особенно вокруг ковок сферул, образуя радиальную систему. По составу этот тип сферул отвечает металлической части самого палласита, причем металлы локализованы в разных минеральных фазах — тэните, камасите, шрейберзите и троилите (см. таблицу). Сферулы могут быть одно-, двух- и трехфазные. Расположение фаз внутри сферул секториальное.

Сферулы оливинового стекла встречаются значительно реже тех видов, которые описаны выше. Обычно эти образования размером от 30 мкм до 2 мм приурочены к внешней оболочке палласита. Оливинное стекло сферул рентгеноаморфно, бесцветно и прозрачно, что делает его легко отличимым от окрашенных в

⁴ Там же.

Химический состав минералов, слагающих различные типы сферул палласита «Омолон» (в мас. %)

Сферулы из коры плавления							
Минералы	Содержание окислов						
	Cr ₂ O ₃	MnO	Ni ₂ O	MgO	FeO	SiO ₂	CoO ₂
Магнетит	0,08	0,18	0,00	0,00	100,54	0,00	0,18
Гематит	0,00	0,24	0,00	0,00	98,83	0,00	0,10

Сферулы расплавленных включений							
Минералы	Содержание элементов						
	Fe	Ni	Co	P	S	Cr	
Тэнит	70,3	31,5	0,4	0,0	0,0	0,1	
Камасит	93,7	5,5	0,7	0,0	0,0	0,0	
Шрейберзит	33,5	51,0	0,1	15,7	0,0	0,0	
Троилит	62,5	0,1	0,1	0,0	37,6	0,2	

Сферулы оливнинового стекла							
Минерал	Содержание окислов						
	Cr ₂ O ₃	MnO	Ni ₂ O	MgO	FeO	SiO ₂	CoO ₂
Оливин	0,02	0,30	0,00	47,05	11,90	39,64	0,00

Анализы выполнены на микрозонде САМЕВАХ Е. М. Горячевой (СВКНИИ ДВО РАН).

желтые и зеленые тона кристаллов оливина.

Таким образом, изучение сферул палласита «Омолон» позволяет сделать следующие выводы.

1. Сферулы металла в оливине являются расплавленными включениями, захваченными из расплава железа при кристал-

лизации оливина. Состав их отвечает металлической части палласита — тэнит, камасит, шрейберзит, троилит. При кристаллизации камасита захватывается небольшая порция нераскристаллизовавшегося оливина.

2. Сферулы, состоящие из окисных фаз железа, образуются на поверхности метео-

рита в процессе абляции и связаны с формированием коры плавления. О росте содержания кислорода при прохождении метеорита через атмосферу говорит последовательное образование магнетита, а затем гематита.

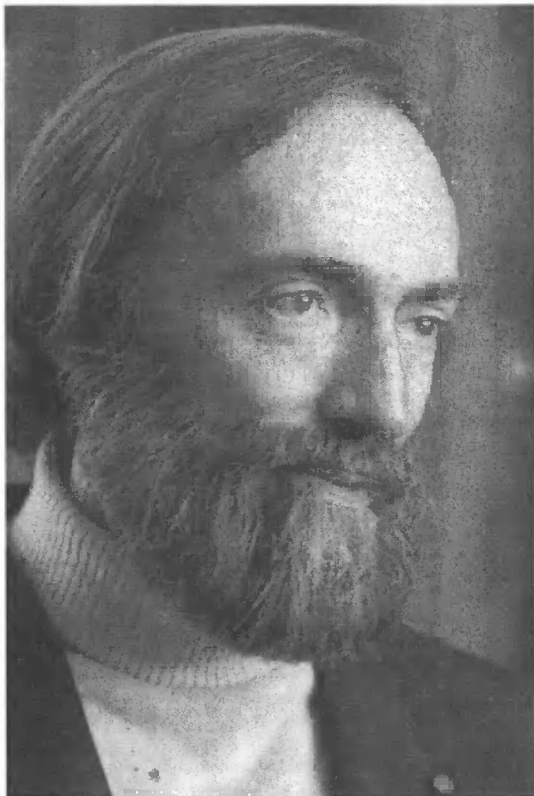
Чем же еще любопытен палласит «Омолон»? Кроме уже перечисленных его особенностей стоит, наверное, отметить, что известные точное время и направление пролета болида (последнее определено по четкой ориентации вала выброса) позволили удачливому «ловцу комет» из Магадана Т. В. Крячко рассчитать, откуда к нам прибыл «Омолон». Он считает, что в отличие от большинства метеоритов «Омолон» пришел не из пояса астероидов, а из метеоритного роя μ -Драконид. Кстати, 16 мая — последний день, когда этот рой «задевал» Землю, и именно в этот день Космос подарил Земле такого редкого пришельца.

Остается добавить, что возраст палласита «Омолон», полученный калий-аргоновым методом⁵, составляет $5,7 \pm 0,9$ млрд. лет. Погрешность определения из-за низкой концентрации калия и большой примеси нерадиогенного аргона довольно высока. Тем не менее очевидно, что этот метеорит относится к самым древним объектам Солнечной системы.

⁵ Шуклюков Ю. А. и др. // Геохимия. 1992. № 7. С. 923—938.

Черные дыры и искривление времени: дерзкое наследие Эйнштейна

К. С. Торн



Внимание читателей журнала «Природа» предлагаются главы из новой книги «Черные дыры и искривление времени: дерзкое наследие Эйнштейна» [Black Holes and Time Wards: Einstein's Outrageous Legacy. New York City: W. W. Norton Publishers, 1994.], написанной профессором К. С. Торном, выдающимся американским физиком-теоретиком. Ему принадлежат фундаментальные исследования в области релятивистской астрофизики и гравитации, квантовых измерений и теории гравитационных антенн. Он член Национальной академии наук США, а также ряда других академий, почетный доктор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. В настоящее время Торн работает в Калифорнийском технологическом институте.

Основная цель книги Торна, заказанной ему более 10 лет назад группой издателей, заключается в том, чтобы в популярной форме рассказать о появлении и развитии новых идей в той области физики, которую обычно называют релятивистской гравитацией. При написании книги оказалось, что во многих случаях эта задача может быть решена лишь в виде параллельного рассказа о том, что сделали в этой области ученые США и нашей страны. Поэтому Торн включил в нее много исторических комментариев и живых деталей, значительная часть которых почерпнута им из личных контактов со многими выдающимися физиками. Видимо, другим названием книги могло бы быть «История открытий и история их авторов».

Мне кажется, что предлагаемые главы должны заинтересовать читателей, если, конечно, они, как и автор этих строк, считают, что популяризация научных достижений и идей — один из важнейших для человечества методов борьбы с разными видами обскурантизма и астроложества.

В. Б. Брагинский,
член-корреспондент РАН
Москва

ГЛАВА 4.

ЗАГАДКА БЕЛЫХ КАРЛИКОВ

в которой Эддингтон и Чандрасекхар ведут баталии вокруг смерти массивных звезд: должны ли они, погибая, схлопнуться, образуя черные дыры, или их спасет квантовая механика?

ГОД 1928-й, место действия — южная Индия, город Мадрас на берегу Бенгальского залива. Здесь, в Мадрасском университете 17-летний индийский юноша

Субраманьян Чандрасекхар увлечен изучением физики, химии и математики. Чандрасекхар — высокий и красивый юноша с царственными манерами — чрезвычайно горд своими академическими успехами. Он только недавно прочитал классический учебник Арнольда Зоммерфельда «Атомные структуры и спектральные линии» и поэтому весьма обрадовался, узнав, что проживающий в Мюнхене Зоммерфельд — один из

© Торн К. С. Черные дыры и искривление времени: дерзкое наследие Эйнштейна.

величайших в мире физиков-теоретиков — посетил Мадрас.

Сгорая от нетерпения, Чандрасекхар отправился к Зоммерфельду в отель и попросил о встрече. Зоммерфельд назначил встречу через несколько дней. В указанное время Чандрасекхар, исполненный гордости и уверенный в том, что достаточно владеет основами современной физики, подошел к номеру Зоммерфельда в отеле и постучал в дверь. Зоммерфельд, вежливо поприветствовав пришедшего, осведомился об учебе, а затем разрешил все его иллюзии. «Физика, которую вы изучали, — дело прошлого. Она полностью изменилась за те пять лет, что прошли с тех пор, как написана моя книга», — объяснил он. Зоммерфельд описал революцию в физическом понимании законов, которые управляют микромиром: миром атомов, молекул, электронов и протонов. В этом мире законы Ньютона, как было обнаружено, уже не справедливы, поскольку не выполняются принципы относительности движения. Им на смену пришел принципиально новый класс физических законов, получивших название законов квантовой механики, поскольку они имеют дело с поведением («механикой») частиц среды («квантов»). Появившись всего два года назад, новые законы квантовой механики тем не менее уже успешно проявили себя в объяснении поведения атомов и молекул.

Чандрасекхар читал в книге Зоммерфельда о первой, предварительной версии этих законов. Однако, как объяснил Зоммерфельд, эти предварительные законы оказались неудовлетворительными. Они, хотя и находились в согласии с экспериментами над простыми атомами и молекулами, такими как водород, не позволяли рассчитать поведение более сложных. Кроме того, эти законы не были логически связаны друг с другом и с другими физическими законами. Они были не более чем набором незастывших эмпирических правил вычисления.

Новый вариант законов, хотя и более радикальный по форме, выглядел гораздо более многообещающим. Он объяснял сложные атомы и молекулы, и, казалось, хорошо согласовывался с остальной физикой.

Чандрасекхар потрясенно слушал, боясь пропустить хоть слово.

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА И СТРОЕНИЕ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ

Перед расставанием Зоммерфельд подарил Чандрасекхару отписки своей только что написанной статьи. Она содержала осно-

вы законов квантовой механики, которые управляют большим числом электронов, заключенных в малом объеме, например в металле.

Чандрасекхар как зачарованный прочел отписки, разобрался в них, а затем много дней провел в университетской библиотеке, изучая все научные статьи по этой теме, которые только смог разыскать. Особенно интересной оказалась статья, озаглавленная «О конденсированном веществе», английского физика Р. Х. Фаулера, опубликованная 10 декабря 1926 г. в журнале «Ежемесячные записки Королевского астрономического общества». Статья Фаулера указала Чандрасекхару на замечательную книгу «Внутреннее строение звезд» знаменитого британского астрофизика Артура С. Эддингтона, в которой Чандрасекхар наткнулся на описание загадки белых карликов.

Белые карлики — это определенный тип звезд, обнаруженный астрономами с помощью телескопов. Загадочной в них была чрезвычайно высокая плотность вещества, находящегося внутри этих звезд, гораздо большая, чем та, с которой до сих пор сталкивался человек. Открывая книгу Эддингтона, Чандрасекхар, конечно, не знал, что, берясь за раскрытие загадки существования столь высокой плотности, он и Эддингтон в конце концов с неизбежностью столкнутся с возможностью того, что массивные звезды, погибая, могут схлопнуться, превратившись в черные дыры.

«Вероятно, белых карликов очень много», — прочитал Чандрасекхар в книге Эддингтона. — Достоверно известны только три, но все они расположены на малом расстоянии от Солнца. ... Самая известная из этих звезд — спутник [обычной звезды] Сириуса», который называют Сириус Б. Сириус и Сириус Б — шестая и седьмая ближайшие к Земле звезды, расстояние до них составляет 8,6 св. лет. Сириус, кроме того, — самая яркая звезда на небе. Сириус Б обращается вокруг Сириуса так же, как Земля вокруг Солнца, но Сириус Б, чтобы закончить один оборот, требуется 50 лет, тогда как Земле — только год.

Эддингтон описал, как астрономы на основе наблюдений в телескоп оценили массу и диаметр Сириуса Б. Масса составила 0,85 солнечной, а диаметр — 118 000 км. Это означало, что средняя плотность Сириуса Б равнялась $61\,000\text{ г/см}^3$ (в 61 тыс. раз больше плотности воды) или примерно 1 тонне в кубическом дюйме! «И хотя этот аргумент был известен уже некоторое время, — писал Эддингтон, — обычно считалось необходимым добавлять в заключение —



Рис. 1. Сравнение размеров и средних плотностей Солнца, Земли и белого карлика Сириус Б на основе современных данных.

«это абсурдно». [Большинство астрономов не могло всерьез воспринимать плотность, столь значительно превышающую ту, которая когда-либо встречалась на Земле. Но если бы они узнали всю истину, обнаруженную в результате более поздних астрономических наблюдений (масса 1,05 солнечной, диаметр 31 000 км, и плотность 4 млн. г/см³, или 60 т/дюйм³), они сочли бы это еще более абсурдным (рис. 1).]

Далее Эддингтон описал новый ключевой подход, подкрепляющий «абсурдное» положение, согласно которому Сириус Б в 61 тыс. раз плотнее воды: если Сириус Б действительно столь плотный, то в соответствии с законами гравитации Эйнштейна, свет, проходя сквозь его мощное гравитационное поле, «покраснел» бы на 6/100 000 — сдвиг, в 30 раз более сильный, чем для света, излучаемого Солнцем, и потому легко обнаружимый. Кажется это предсказание красного смещения было проверено как раз перед тем, как книга Эддингтона была направлена в печать в 1925 г., астрономом В. С. Адамсом в обсерватории Маунт Вильсон, расположенной на вершине горы близ Пасадены в Калифорнии¹.

«Профессор Адамс убил сразу двух зайцев,— писал Эддингтон,— он выполнил еще одну проверку общей теории относительности Эйнштейна и подтвердил наши подозрения относительно того, что вещество с плотностью, в 2000 раз большей, чем у платины, не только возможно, но и реально существует во Вселенной». Еще дальше в книге Эддингтона Чандрасекхар нашел описание того, как внутренняя структу-

ра звезд, таких как Солнце или Сириус Б, управляется посредством баланса между внутренним давлением и гравитационным сжатием. Природа подобного баланса может быть понята (у Эддингтона этого нет) из аналогии со сжимаемым в руках мячиком (левая часть рис. 2). Внешняя сила сжатия ваших рук в точности компенсируется направленной наружу силой давления воздуха в мячике — давления, которое создается молекулами воздуха, бомбардирующими резиновую стенку мяча.

Для звезды (правая часть рис. 2) аналогом ваших рук является вес внешней оболочки звездного вещества, а аналогом воздуха в мяче — вещество внутри оболочки. Граница между внешней оболочкой и внутренним шаром может быть выбрана совершенно произвольно — на глубине одного метра, километра, тысячи километров от поверхности звезды. Где бы ни была выбрана граница, должно выполняться требование: вес внешней оболочки, сжимающий внутреннее ядро (гравитационное сжатие внешней оболочки) в точности скомпенсирован давлением молекул внутреннего шара, сталкивающимися с этой оболочкой. Этот баланс, с необходимостью возникающий в каждом месте внутри звезды, определяет структуру звезды, т. е. детали того, как давление, гравитация и плотность меняются от поверхности звезды вглубь, к ее центру.

В книге Эддингтона, кроме того, обсуждался не дающий покоя физикам парадокс, связанный с представлениями того времени о структуре белых карликов. Эддингтон полагал (как и все астрономы в 1925 г.), что давление вещества белых карликов, так же как и в вашем мяче, должно быть обусловлено его теплом. Тепло заставляет атомы вещества двигаться внутри звезды с высокими скоростями, сталкиваясь друг с другом и бомбардируя поверхность границы между внешней оболочкой звезды и его внутренним ядром. При «макроскопическом» рассмотрении, слишком грубом, чтобы различать отдельные атомы, все, что мы можем измерить, это полную силу ударов атомов, которые сталкиваются, скажем, с одним квадратным сантиметром поверхности. Эта полная сила и есть давление внутри звезды.

Когда звезда охлаждается, испуская излучение во внешнее пространство, ее атомы начинают двигаться медленнее, давление ослабевает и вес внешней оболочки сжимает внутреннее ядро до меньшего объема. Это сжатие вновь нагревает звезду, увеличивая внутреннее давление, пока не будет достигнут новый баланс сжатие—давление,

¹ Забавно, что измеренный Адамсом красноволновый гравитационный сдвиг находился в согласии с предсказанием теории, хотя предсказанное значение сдвига было в общем неверным (в пять раз меньше) из-за ошибок в астрономических оценках массы и диаметра Сириуса Б.

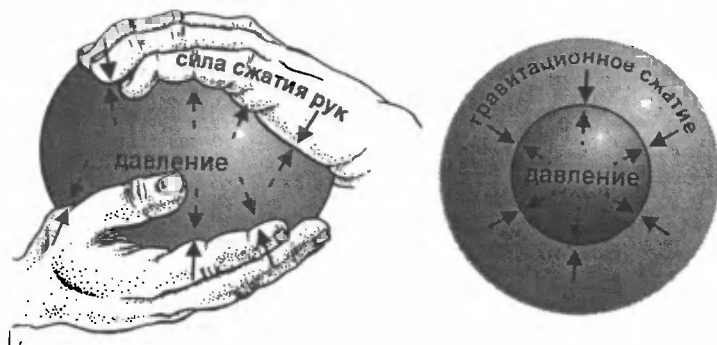


Рис. 2. Баланс между сжатием ваших рук и давлением внутри мяча (слева) и аналогичный баланс между гравитационным сжатием (весом) внешней оболочки звездного вещества и давлением внутреннего объема звезды (справа).

но уже при меньших размерах, чем прежде. Таким образом, поскольку Сириус Б продолжает постепенно охлаждаться, излучая тепло в межзвездное пространство, он должен мало-помалу сокращаться в размерах.

Когда закончится это сжатие? Какова окончательная судьба Сириуса Б? Самый очевидный (но неверный) ответ, что звезда будет уменьшаться до тех пор, пока не станет столь малой, что превратится в черную дыру, был неприемлем для Эддингтона. Он отказывался даже рассматривать его. Единственное разумное решение, которое он еще мог представить, состояло в том, что звезда должна в пределе охладиться и затем будет поддерживаться уже не тепловым давлением (т. е. давлением, обусловленным теплом), а другим известным в 1925 г. типом давления, а именно тем, которое обнаруживается в твердых телах, например в обычном камне, — обусловленным отталкиванием электронов близко расположенных атомов. Но, как (неправильно) считал Эддингтон, такое «каменное давление» возможно лишь в том случае, если плотность звезды близка к плотности камня — несколько граммов на кубический сантиметр (в 10 тыс. раз меньше, чем плотность Сириуса Б).

Такая последовательность аргументов привела к парадоксу Эддингтона. Чтобы расширяться до плотности камня и тем самым быть в состоянии удерживать себя после охлаждения, Сириусу Б требуется совершить колоссальную работу против сил собственной гравитации, а физики не знали адекватного такой работе источника энергии внутри звезды. «Представьте тело, постоянно теряющее тепло, но тем не менее теряющее его не достаточно, чтобы охладиться», — писал Эддингтон. — Это любопытная проблема, и можно было бы сделать множество причудливых предположений касательно того, что в действительности проис-

ходит. Мы же оставим в стороне эту трудность, поскольку она необязательно является неизбежной».

Чандрасекхар нашел разрешение этого парадокса 1925 г. в статье Р. Х. Фаулера 1926 г. «О плотном веществе». Решение заключалось в несостоятельности законов физики, использованных Эддингтоном. Эти законы необходимо было заменить новыми законами квантовой теории, которые описывали давление внутри Сириуса Б и других белых карликов не как обусловленное теплом, а как новый, квантово-механический феномен: вырожденное движение электронов, называемое также электронным вырождением.

Вырождение электронов напоминает человеческую клаустрофобию. Когда вещество сжато до плотности, в 10 тыс. раз превышающей плотность камня, облако электронов, окружающее каждое атомное ядро, занимает в 10 тыс. раз более тесную ячейку. Поэтому каждый электрон оказывается заключенным в «клетку», имеющую объем, в 10 тыс. раз меньший того, в котором ему раньше позволялось двигаться. Имея в распоряжении столь малый объем, электрон, как человек, больной клаустрофобией, начинает произвольно метаться. Он носится по своей маленькой клетке с очень высокой скоростью, с большой силой ударяясь об электроны в прилегающих ячейках. Это вырожденное движение, как его называют физики², не может быть остановлено охлаждением вещества. Ничто не может его остановить; законы квантовой механики вынуждают электрон двигаться даже при тем-

² Слово «вырожденный» не означает «моральное вырождение» («низкий уровень морали»), а имеет смысл «достижение электроном наименьшего возможного уровня энергии».

пературе вещества, равной абсолютно нулю.

Это вырожденное движение есть следствие особенности вещества, о которой и не думали ньютоновские физики,— особенностью, называемой корпускулярно-волновым дуализмом: каждая частица (корпускула), в соответствии с квантовой механикой, при определенных условиях ведет себя, как волна, а волна любого типа, при некоторых специальных условиях,— как частица. Поэтому волны и частицы в действительности являются одной и той же сущностью, которая иногда ведет себя, как частица, а иногда — как волна.

Электронное вырождение проще всего понять в рамках дуализма волна — частица. Когда вещество сжато до высокой плотности и каждый электрон среды заключен в чрезвычайно малом пространстве, сдвинутый электронами соседних ячеек, он начинает вести себя во многом, как волна. Длина электронной волны (расстояние между ее гребнями) не может быть больше, чем размер ячейки; если бы она была больше, волна выходила бы за пределы этой ячейки. Далее, частицы, имеющие очень малую длину волны, обязательно будут обладать высокой энергией. (Типичный пример — фотон — частица, связанная с электромагнитной волной. Фотон рентгеновских лучей имеет гораздо более короткую длину волны, чем у видимого света и, как следствие, фотоны рентгеновских лучей гораздо более энергичны, чем фотоны видимого света. Высокая энергия рентгеновских лучей позволяет им проникать сквозь мягкие ткани и кости человека.)

Для электронов, находящихся внутри очень плотного вещества короткая длина волны и, соответственно, высокая энергия приводят к их быстрому движению; это означает, что электрон должен двигаться в своей ячейке, ведя себя как странный сверхбыстрый мутант: наполювину — волна, наполювину — частица. Физики говорят, что электрон «вырожден», и называют давление, вызываемое этим беспорядочным высокоскоростным движением, «давлением вырожденных электронов». Не существует способа избавиться от этого давления; оно является неизбежным следствием заключения электрона в малом объеме. Более того, чем больше плотность вещества, тем меньше ячейка, тем меньше длина волны электрона, тем выше его энергия, быстрее движение и, следовательно, больше давление вырождения. В обычном веществе с обычной плотностью давление вырождения настолько ма-

ло, что им можно пренебречь, но при огромных плотностях белых карликов оно должно быть чрезвычайно большим.

Когда Эддингтон писал свою книгу, электронное вырождение еще не было предсказано, и поэтому не было никакой возможности правильно рассчитать, как камень или любой другой материал ответит на сжатие до ультравысоких плотностей Сириуса Б. С появлением законов электронного вырождения, подобные вычисления стали возможны, и они действительно были предложены и осуществлены Фаулером в статье 1926 г.

Из расчетов Фаулера следовало, что поскольку электроны в Сириусе Б и других белых карликах сжаты в столь малых ячейках, давление вырождения в них гораздо больше температурного (вызванного теплом). Соответственно, когда Сириус Б остывает, его слабое термическое давление исчезает, а огромное давление вырождения остается и продолжает противостоять гравитации.

Таким образом, решение эддингтонова парадокса белых карликов имеет два аспекта. Во-первых, Сириус Б не сдерживает влияния гравитации с помощью температурного давления, как думали ранее, до появления квантовой механики; основную роль играет давление вырождения. Во-вторых, когда Сириус Б остывает, ему нет надобности расширяться до плотности камня, чтобы поддерживать себя; как раз наоборот, он будет вполне удовлетворительно поддерживаться давлением вырождения при существующей плотности 4 млн. г/см³.

Чандрасекхар, читая все это и изучая математические выкладки в Мадраской библиотеке, был попросту очарован. Это было его первое соприкосновение с современной астрономией, и он обнаружил глубокие следствия двух, идущих рука об руку, революционных идей физики XX в.: общая теория относительности Эйнштейна с новым взглядом на природу пространства и времени проявилась в красноволновом сдвиге света, испускаемом Сириусом Б; и новая квантовая механика с корпускулярно-волновым дуализмом была ответственна за внутреннее давление Сириуса Б. Такая астрономия представлялась благодатным полем, на котором молодой человек мог бы проявить себя.

Продолжая обучение в Мадрасе, Чандрасекхар находил дальнейшие приложения квантовой механики к астрономической Вселенной. Он даже написал небольшую статью о своих идеях, отправил ее в Англию Фаулеру, с которым ранее никогда не встре-

чался, и Фаулер представил ее к публикации.

Наконец, в 1930 г., в возрасте 19 лет, Чандрасекхар получил индийский эквивалент степени бакалавра и в последнюю неделю июля ступил на борт парохода, отплывающего в далекую Англию. Он был принят для продолжения образования в Кембриджский университет — место, где работали его кумиры Фаулер и Эддингтон.

ПРЕДЕЛЬНАЯ МАССА

Восемнадцать дней плавания по морю из Мадраса в Саутгемптон были для Чандрасекхара первой за много месяцев возможностью спокойно подумать о физике, не отвлекаясь на рутину учебы и экзаменов. Морское уединение способствовало размышлениям, которые были весьма плодотворны. Настолько, что фактически помогли получить ему Нобелевскую премию, — правда, лишь 54 года спустя, и только после серьезной борьбы за признание мировым астрономическим сообществом.

На борту парохода Чандрасекхар позволил своим мыслям вернуться к белым карликам, парадоксу Эддингтона и разрешению парадокса Фаулером. Решение Фаулера почти наверняка было правильным, и другого не было. Однако Фаулер до конца не разработал детали баланса между вырожденным давлением и гравитацией в звездах типа белого карлика, не рассчитал также и их внутреннюю структуру: каким образом от поверхности к центру меняются плотность, давление и гравитация звезды. И это был вызов — проблема дразнящая и помогающая к тому же бороться со скукой во время долгого путешествия.

Чтобы найти опору при исследовании структуры звезды, Чандрасекхару необходимо было получить ответ на следующий вопрос. Допустим, вещество, из которого состоит белый карлик, уже сжато до некоторой плотности (например, до 1 млн. г/см³). Сожмем вещество (т. е. уменьшим его объем и увеличим плотность) еще на 1%. Вещество будет противиться этому дополнительному сжатию, увеличивая свое внутреннее давление. На сколько процентов возрастет это давление? Физики используют термин «адиабатический коэффициент» для такого процентного изменения давления, обусловленного одним процентом дополнительного сжатия. В этой книге я буду пользоваться более наглядным названием — сопротивление сжатию, или просто сопротивление. (Его не следует смешивать с

«электрическим сопротивлением», это совершенно разные понятия.)

Чандрасекхар вывел сопротивление сжатию, изучая шаг за шагом последствия однопроцентного увеличения плотности вещества белого карлика: результирующее уменьшение размера электронной ячейки, уменьшение длины волны электрона, увеличение его энергии и скорости и, наконец, возрастание давления. Результат оказался прост: однопроцентное увеличение плотности приводит к увеличению давления на 5/3% (1,667%). Сопротивление вещества белого карлика, следовательно, было равно 5/3.

За много десятилетий до путешествия Чандрасекхара астрофизики рассчитали составляющие баланса между гравитацией и давлением внутри любой звезды, сопротивление сжатию которой не зависит от глубины, — т. е. звезды, давление и плотность которой возрастают так, что если продвигаться все глубже внутри, увеличение плотности на 1% будет по-прежнему сопровождаться тем же фиксированным приращением давления. Детали получающейся структуры звезды содержались в книге Эддингтона «Внутреннее строение звезд»: этой книгой Чандрасекхар весьма дорожил и потому взял ее с собой на борт корабля. Поэтому, когда Чандрасекхар обнаружил, что вещество белого карлика имеет не зависящее от давления сопротивление сжатию, он был очень доволен. Теперь, обратившись к книге Эддингтона, он мог сразу узнать внутреннюю структуру звезды: как плотность и давление меняются от поверхности к центру.

Среди прочего открытого Чандрасекхаром в результате объединения формул, приведенных в книге Эддингтона, с его собственными вычислениями были выведены значения плотности и скорости вырожденного движения электронов в центре Сириуса Б. Ответ состоял в следующем: плотность в центре звезды составляла 360 тыс. г/см³ (или 6 т/дюйм³); средняя скорость электронов — 57% скорости света.

Как тревожно много! Чандрасекхар, как и Фаулер до него, рассчитывал сопротивление вещества белых карликов, основываясь на законах квантовой механики, но игнорируя релятивистские эффекты. Однако если какой-либо объект движется с околосветовой скоростью (даже если это частица, управляемая квантово-механическими законами), то становятся важными эффекты теории относительности. При скорости, составляющей 57% скорости света, эти эффекты не должны быть страш-

но велики; но у более массивного белого карлика большая гравитация требует большего давления в центре звезды для поддержания баланса сил, и средняя скорость электронов, соответственно, будет больше. В таком белом карлике уже нельзя игнорировать релятивистские эффекты. Поэтому Чандрасекхар вернулся к исходной точке своего анализа — вычислению сопротивления вещества белого карлика, чтобы на этот раз постараться учесть релятивистские эффекты.

Но их строгий учет потребовал бы объединения законов специальной теории относительности и законов квантовой механики — объединения, которое было разработано позднее совместными усилиями величайших физических умов. Одному, закончившему только недавно университет, Чандрасекхару, конечно, это было не под силу. Однако уже тогда он смог достаточно оценить принципиальные эффекты, вызываемые высокой скоростью электронов.

Квантовая механика утверждает, что когда достаточно плотное вещество сжимается еще больше, делая каждую электронную ячейку еще меньше, длина волны электрона должна уменьшаться и, соответственно, должна увеличиваться энергия вырожденного движения. Чандрасекхар, однако, понял, что природа дополнительной энергии электронов различна и зависит от того, движется ли электрон много медленнее света или же со скоростью, близкой к световой. Если перемещение электрона медленное, то, как и обычно, увеличение энергии означает более быстрое движение, т. е. более высокую скорость. Если же электрон движется уже с околосветовой скоростью, то его скорость не сможет сколь-нибудь значительно увеличиться (иначе она превысит световой предел!). Поэтому приращение энергии принимает другую форму, незнакомую в повседневной жизни: дополнительная энергия переходит в инерционность, т. е. возрастает сопротивление электрона ускорению.

Эти две различные судьбы добавочной энергии (дополнительная скорость против дополнительной инерционности) приводят к разным увеличениям электронного давления, а следовательно, и к разным сопротивлениям сжатию. Чандрасекхар установил: при низких скоростях электрона сопротивление равно $5/3$, как он и рассчитал раньше, а при высоких — $4/3$.

Объединив затем полученное им сопротивление $4/3$ для релятивистски вырожденного вещества (т. е. вещества настолько плотного, что вырожденные электроны дви-

жутся со скоростями, близкими к скорости света) с формулами, приведенными в книге Эддингтона, Чандрасекхар вывел свойства белых карликов с высокой плотностью и большой массой. Результат оказался поразительным: вещество с высокой плотностью с трудом может сдерживать гравитацию — настолько, что действие гравитации может быть уравновешено давлением, только если масса звезды меньше 1,4 солнечной. Это означало, что вообще не может существовать белых карликов массой, превышающей 1,4 массы Солнца!

Имея достаточно ограниченные знания по астрофизике, Чандрасекхар был озадачен полученным странным результатом. Только позже, после обсуждения его с Эддингтоном и другими учеными в Кембридже, он пришел к пониманию: если белый карлик тяжелее Солнца в 1,4 раза, гравитация полностью преодолевает давление вырождения. Если более тяжелая звезда истощает свой внутренний запас тепла и остывает, тяготение выигрывает противоборство с давлением и заставляет звезду неминуемо сжиматься. Но до каких пор сжиматься? Ответ (в нейтронную звезду или черную дыру) мы рассмотрим в следующих двух главах. Однако в то время Чандрасекхар был еще далек от таких проблем.

В тот момент он был просто поставлен в тупик. Вновь и вновь он проверял свои вычисления, но не находил ошибки. Поэтому в оставшиеся несколько дней своего путешествия он старательно записал результаты, оформив их для публикации в две статьи. В одной он описал свои выводы о структуре белых карликов малой массы и плотности, таких как Сириус Б. В другой — очень кратко объяснял его вывод, согласно которому не существует белых карликов в 1,4 раза тяжелее Солнца.

Когда Чандрасекхар прибыл в Кембридж, Фаулер был в отъезде. В сентябре, после возвращения Фаулера, Чандрасекхар сразу же посетил его и вручил обе свои статьи. Фаулер одобрил первую и отослал ее для публикации в «Философский журнал»; вторая же статья о максимальной массе белых карликов привела его в недоумение. Он не смог понять доказательства Чандрасекхара того, что не может быть белых карликов в 1,4 раза тяжелее Солнца; но поскольку он был скорее физик, чем астроном, то попросил своего коллегу, известного астронома Е. А. Милна посмотреть статью. Когда и тот не смог понять приводимых в ней доказательств, Фаулер отказался рекомендовать статью в печать.

Чандрасекхар был раздосадован. Про-

шло уже три месяца, как он приехал в Англию, и два месяца Фаулер держал его рукописи. Слишком долго, чтобы ждать одобрения для публикации. Уязвленный Чандрасекхар прекратил все попытки опубликовать вторую статью в Британии и отослал по почте рукопись в Америку, в «Астрофизический журнал».

Спустя несколько недель пришел ответ редактора из Чикагского университета: рукопись послана на рецензию американскому физику Карлу Эккарту. В рукописи Чандрасекхар приводил, без объяснения, результаты своих релятивистских и квантово-механических расчетов, согласно которым сопротивление сжатию при высокой плотности среды составляет $4/3$. Это сопротивление, равное $4/3$, было существенно для установления предела того, насколько тяжелым может быть белый карлик. Если бы сопротивление было больше, белые карлики могли бы быть сколь угодно тяжелыми, — и Эккерт думал, что оно действительно больше. Чандрасекхар немедленно дал ответ, содержащий математическое доказательство равенства сопротивления четырем третям. Эккерт, вникнув в детали, признал правоту Чандрасекхара и одобрил рукопись для публикации.

В конце концов, спустя целый год после того, как Чандрасекхар написал статью, она была напечатана³.

Реакцией астрономического сообщества было непроницаемое молчание. Казалось, никто не заинтересовался. Поэтому Чандрасекхар, желая поскорее получить степень доктора философии, обратился к более насущным задачам.

Три года спустя, получив степень доктора, Чандрасекхар посетил Россию, чтобы обменяться идеями с советскими учеными. В Ленинграде молодой армянский астроном Виктор Амазаспович Амбарцумян заявил Чандрасекхару, что ни один астроном в мире не поверит в его странный предел массы до тех пор, пока на основании физических законов он не рассчитает массы достаточного числа белых карликов и ясно не покажет, что все они лежат ниже провозглашенного порога. При этом было бы явно недостаточно, утверждал Амбарцумян, чтобы Чандрасекхар проанализировал только белые карлики с относительно низкой плот-

ностью и сопротивлением, равным $5/3$, и белые карлики с чрезвычайно высокой плотностью и сопротивлением $4/3$. Ему следовало бы также исследовать несколько белых карликов с промежуточными значениями плотности и сопротивления и показать, что они также имеют массу, меньшую $1,4$ солнечной. По возвращении в Кембридж Чандрасекхар принял вызов Амбарцумяна.

В качестве основы для анализа белых карликов с промежуточными значениями плотности необходимо было иметь уравнение состояния их вещества при любых значениях плотности — от низкой до предельно большой. (Под термином «состояние» вещества физики понимают плотность и давление в веществе — или, что тоже самое, его плотность и сопротивление сжатию, поскольку из плотности и сопротивления можно вычислить давление. Под «уравнением состояния» понимается соотношение между сопротивлением и плотностью, т. е. сопротивление «как функция» плотности.)

К концу 1934 г., когда Чандрасекхар принял вызов Амбарцумяна, уравнение состояния для белых карликов, благодаря вычислениям Эдмунда Стонера из Университета Лидса в Англии и Вильгельма Андерсона из Тартуского университета в Эстонии, было уже известно. Уравнение состояния Стонера—Андерсона показало, что когда вещество белого карлика сжимается все сильнее и сильнее, переходя от нерелятивистского режима низкой плотности и малых скоростей электронов в релятивистскую область чрезвычайно высоких плотностей и околосветовых скоростей движения электронов, сопротивление вещества сжатию гладко спадает от $5/3$ до $4/3$ (левая часть рис. 3). Трудно было придумать более простое поведение.

Чтобы ответить на вызов Амбарцумяна, Чандрасекхар должен был объединить уравнение состояния (зависимость сопротивления от плотности) с законами баланса между давлением и гравитацией и, исходя из этого, получить дифференциальное уравнение⁴, описывающее внутреннюю структуру

³ В это же самое время Эдмунд С. Стонер независимо доказал (и опубликовал) существование максимальной массы белых карликов. Однако его вычисления были менее убедительными, чем вычисления Чандрасекхара, поскольку он предполагал, что звезда имеет равномерное внутреннее распределение плотности.

⁴ Дифференциальное уравнение — уравнение, связывающее в одном выражении различные функции и скорости их изменения, т. е. функции и их производные. В дифференциальном уравнении, полученном Чандрасекхаром, функциями являлись плотность звезды, давление и сила гравитации, являющиеся функциями расстояния от центра. Дифференциальное уравнение представляло связь этих функций и скорость их изменения при движении от поверхности внутрь звезды. Под словами «решение дифференциального уравнения» понимают «вычисление самих функций на основе заданного дифференциального уравнения».

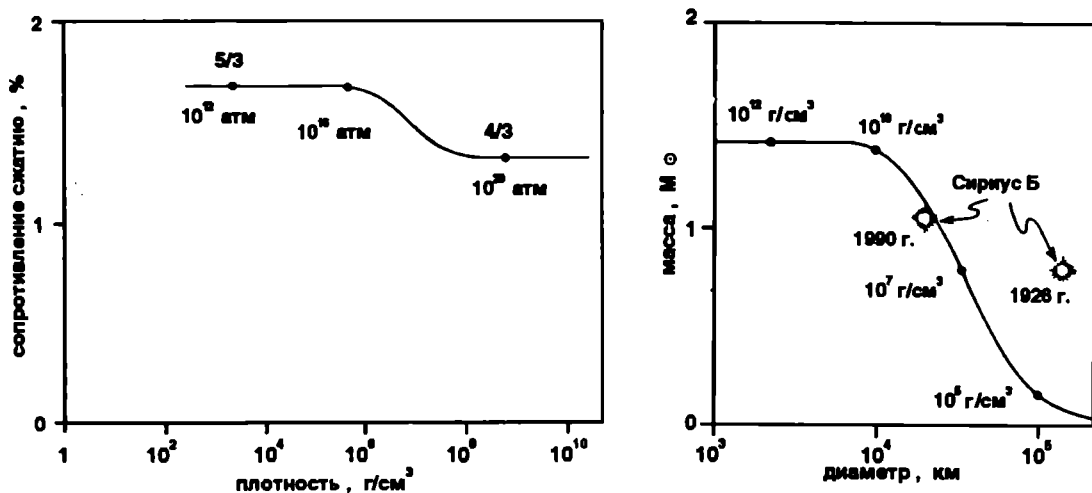


Рис. 3. Уравнение состояния вещества белых карликов, т. е. соотношение между плотностью вещества и сопротивлением сжатию [слева]. По горизонтальной оси отложена плотность, до которой сжато вещество; по вертикальной — сопротивление [увеличение давления в процентах, вызванное ростом плотности на 1%]. Вдоль кривой проставлены значения давления сжатия [равные внутреннему давлению] в единицах атмосферного давления. Диаметр и масса звезд типа белых карликов, рассчитанные Чандрасекхаром с помощью механического арифмометра «Брауншвейгер», принадлежавшего Эддингтону [справа].

звезды, т. е. изменение плотности звезды в зависимости от расстояния до ее центра. Затем требовалось решить полученное дифференциальное уравнение для десятка или около того звезд, плотность вещества в центре которых меняется от низких до чрезвычайно высоких значений. Только решая дифференциальное уравнение для каждой отдельной звезды, он мог узнать ее массу и установить, меньше ли она 1,4 солнечной.

Для звезд как с малой, так и с предельно большой плотностью, исследованных Чандрасекхаром на борту парохода, решение соответствующего дифференциального уравнения и вытекающее из него строение звезды нашлось в книге Эддингтона. Однако для звезд с промежуточными значениями плотности вывести решение с помощью математических формул Чандрасекхару никак не удавалось. Вычисления были слишком сложны. Ничего не оставалось, кроме как решить дифференциальные уравнения численно, с помощью счетной машины.

В 1934 г. счетные машины весьма отличались от тех компьютеров, которые появились в 90-е годы. Они напоминали скорее простейшие из карманных калькуляторов. За один раз они могли лишь перемножить два числа, причем пользователю

требовалось сначала вручную ввести эти числа, а затем повернуть рукоятку. Рукоятка приводила в движение сложную систему шестеренок и колесиков, выполнявших умножение и выдававших ответ.

Но даже и такие калькуляторы были тогда роскошью, и получить к ним доступ было непросто. У Эддингтона, однако, был один — «Брауншвейгер», размер которого примерно соответствовал размеру настольных персональных компьютеров 90-х, и поэтому Чандрасекхар, к тому времени уже хорошо знакомый с великим человеком, просто пришел к Эддингтону и попросил на время одолжить ему машину. В тот момент Эддингтон был втянут в спор с Милном о белых карликах и потому был весьма заинтересован поскорее узнать их детально рассчитанную внутреннюю структуру; поэтому он позволил Чандрасекхару переправить «Брауншвейгер» в свою комнату в Тринити-колледже.

Вычисления были длинными и утомительными. Каждый вечер после обеда Эддингтон, работавший в Тринити-колледже, поднимался к Чандрасекхару, чтобы приободрить его и взглянуть, как продвигается дело.

Наконец, много дней спустя, Чандрасекхар закончил. Он ответил на вызов Амбарцумяна. Для каждого из десяти типичных

белых карликов он рассчитал внутреннюю структуру и затем, зная ее, — полную массу и поперечный размер звезды. Все массы, как и предполагалось, оказались меньше 1,4 солнечной. Более того, когда он нанес все значения масс и диаметров на диаграмму и соединил точки, получилась одна плавная кривая (правая часть рис. 3); измеренные массы и поперечники Сириуса Б, а также других известных белых карликов относительно хорошо согласовывались с полученной кривой. (С учетом исправлений, полученных в результате современных астрономических наблюдений, согласие становится еще лучше; обратите внимание на новые значения, 1990 г., массы и поперечника Сириуса Б на рис. 3.) Гордый своими результатами и полагая, что астрономы всего мира наконец-то согласятся с его утверждением (что белые карлики не могут быть тяжелее, чем 1,4 Солнца), Чандрасекхар был счастлив.

Особенно приятной казалась возможность представить полученные результаты на заседании Королевского астрономического общества в Лондоне. Выступление было назначено на пятницу, 11 января. Согласно протоколу, детали повестки дня предстоящего заседания должны были оставаться в секрете вплоть до начала заседания. Однако мисс Кей Вильямс, ученый секретарь Общества и близкий друг Чандрасекхара, обычно тайно заранее посылала ему программу выступлений. Получив в четверг вечером программу по почте, Чандрасекхар был удивлен, обнаружив, что сразу после его доклада следует выступление Эддингтона по вопросу о «релятивистском вырождении». Чандрасекхар недоумевал. В течение последних нескольких месяцев Эддингтон заходил навещать его по крайней мере раз в неделю, читал черновики, но ни разу не упомянул о собственных исследованиях на ту же тему!

Подавив досаду, Чандрасекхар спустился к обеду. Эддингтон был в столовой, обедая за главным столом. Приличия, однако, не позволяли просто так побеспокоить столь известного человека, даже если вы были с ним знакомы и он проявлял некий интерес к вашей деятельности. Поэтому Чандрасекхар, сдержавшись, сел в стороне.

После обеда Эддингтон сам отыскал Чандрасекхара и сказал: «Я попросил Смартта дать вам полчаса вместо обычных пятнадцати минут». Чандрасекхар поблагодарил и собрался было что-то спросить относительно выступления Эддингтона, но тот, извинившись, откланялся. Раздражение Чандрасекхара переросло в смятение.

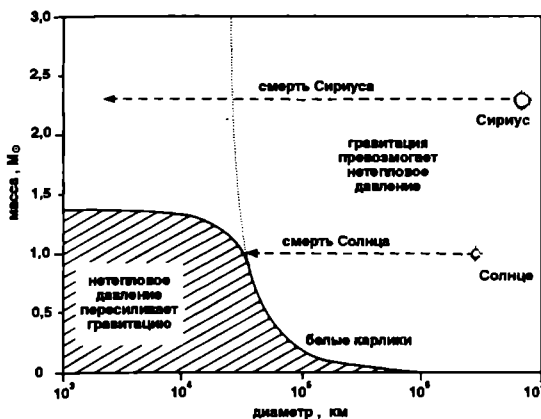


Рис. 4. Когда обычная звезда вроде Сириуса (но не Сириус Б) или Солнца начинает остывать, она должна сжиматься, двигаясь влево на этой диаграмме масс и диаметров звезд. Сжатие Солнца остановится, как только оно достигнет края заштрихованной области (кривая белых карликов). В этом месте давление вырождения сравняется с силами гравитационного сжатия. Сжатие Сириуса, напротив, не может быть остановлено таким же образом, поскольку он никогда не достигнет границы заштрихованной области. Если бы [как завлал Эддингтон] сопротивление сжатию вещества белых карликов всегда было равно $5/3$, т. е. релятивистские эффекты не уменьшали бы его до $4/3$ при высоких плотностях, то график зависимости массы от диаметра имел бы вид пунктирной кривой и сжатие Сириуса остановилось бы на этой кривой.

СХВАТКА

На следующее утро Чандрасекхар на поезде приехал в Лондон и взял такси до Берлингтон-хаус, где размещалось Королевское астрономическое общество. В то время, когда он со своим другом Биллом Мак-Крэм ожидал начала заседания, к ним приблизился проходивший мимо Эддингтон, и Мак-Крэй, только что ознакомившийся с программой, спросил: «Профессор Эддингтон, что же нам предстоит узнать о релятивистском вырождении?». В ответ Эддингтон, повернувшись к Чандрасекхару, сказал: «Это будет для вас сюрпризом» — и ушел, оставив Чандрасекхара в еще большем волнении.

Но вот заседание началось. Время тянулось медленно, пока президент Общества делал разные объявления, а астрономы выступали с докладами. Наконец подошла очередь Чандрасекхара. Подавив беспокойство, он выступал безупречно, особенно выделив в своем сообщении полученную им максимальную массу белых карликов.

После вежливых аплодисментов членов

Общества президент предоставил слово сэру Артуру Эддингтону.

Эддингтон спокойно начал, сделал обзор истории исследования белых карликов. Затем, набирая обороты, он описал беспокоящие его следствия существования предельной массы.

На диаграмме Чандрасекхара, на которой по вертикали отложена масса звезды, а по горизонтали — диаметр (рис. 4), существовала только одна совокупность масс и диаметров звезд, для которой гравитация может быть уравновешена нетепловым давлением (т. е. давлением, которое остается после остывания звезды) — это и есть белые карлики. В области слева от кривой белых карликов Чандрасекхара (заштрихованная область; звезды с меньшим диаметром) давление вырождения полностью пересиливает гравитацию, что в любой звезде, находящейся в заштрихованной области, приведет к взрыву. Справа от кривой (светлая область, звезды с большим, чем у белых карликов, радиусом), напротив, гравитация превозмогает давление вырождения звезды. Каждая холодная звезда, оказавшаяся в этой области, немедленно схлопнется под действием гравитационного сжатия.

Солнце может существовать в светлой области, поскольку сейчас оно очень горячее; его термическому (обусловленному теплом) давлению удастся уравновесить гравитацию. Однако, когда Солнце в конце концов остынет, его тепловое давление исчезнет, и Солнце не сможет больше себя поддерживать. Гравитация заставит его сжиматься до все меньших размеров, стискивая электроны Солнца во все уменьшающихся ячейках, пока наконец они не смогут противопоставить сжатию достаточное давление вырождения. В процессе такого сжатия — «смерти» — масса Солнца будет оставаться почти постоянной, тогда как диаметр будет уменьшаться, и, следовательно, оно будет двигаться влево вдоль горизонтальной линии на рис. 5, пока наконец не остановится на кривой белых карликов — своей «могиле». Здесь, в виде белого карлика, Солнце будет существовать всегда, постепенно остывая и превращаясь в черный карлик — холодный темный твердый объект размером, примерно равным размеру Земли, но в миллионы раз более тяжелый и плотный.

Такая конечная судьба Солнца казалась Эддингтону вполне удовлетворительной. Но не конечная судьба звезд, имеющих массу, большую предельной массы, полученной Чандрасекхаром (1,4 солнечной), например Сириуса массой в 2,3 солнечной.

Если Чандрасекхар был прав, такая звезда никогда не сможет умереть спокойной смертью, подобно той, что ожидает Солнце. Когда излучение, постоянно испускаемое в пространство, унесет достаточно тепла, чтобы звезда начала остывать, тепловое давление понизится и гравитационные силы будут уменьшать ее размеры. Но для такой тяжелой звезды, как Сириус, сжатие не может быть прекращено вырожденным давлением. Это становится понятным из рис. 4, на котором заштрихованная область не простирается достаточно высоко, чтобы помешать предначертанному пути сжатия Сириуса. Эддингтон находил это предсказание неприемлемым.

«Звезда будет продолжать излучать, сжимаясь и сжимаясь, — сообщал Эддингтон аудитории, — пока, как я полагаю, она не уменьшится до размера в несколько километров, когда гравитация станет столь сильной, что будет удерживать излучение, и звезда наконец упокоится в мире». [Говоря словами 1990-х годов, она должна стать черной дырой.] «Доктор Чандрасекхар ранее получил этот результат, однако в своей последней статье он сгладил проблему. Обсуждая ее с ним, я пришел к заключению, что это было почти что *reductio ad absurdum* (сведением к абсурду) формулы релятивистского вырождения. Разные случайности могут вмешаться и спасти звезду, но я хочу лучшей защиты. Думаю, должен существовать закон природы, не позволяющий звездам вести себя столь абсурдным образом!»

Затем Эддингтон оспорил математические доказательства Чандрасекхара, заявив, что им нельзя доверять, поскольку они основываются на неадекватно сделанном соединении специальной теории относительности и квантовой механики. «Я не считаю, что плод этого союза рожден в законном браке, — сказал Эддингтон. — Я почувствую удовлетворенность лишь тогда (при условии правильного сопряжения), когда релятивистские поправки скомпенсируются так, что мы вернемся к «обычной» формуле» [т. е. к соотношению $5/3$, которое позволило бы существовать белым карликам произвольной массы и тем самым позволило бы давлению прекратить сжатие Сириуса на гипотетической пунктирной кривой рис. 4).

Далее Эддингтон обрисовал, как необходимо, по его разумению, проделать соединение квантовой теории и специальной теории относительности, совсем не так, как это сделали Чандрасекхар, Стонер и Андерсон; подобное соединение спасло бы все звезды от судьбы черной дыры.

Чандрасекхар был шокирован. Он никак не ожидал такой атаки на свою работу. Почему Эддингтон не обсудил все это с ним заранее? Что же касается аргументов Эддингтона, они показались Чандрасекхару позорительными, почти наверняка неверными.

В то время Эддингтон считался великим человеком в британской астрономии. Его открытия были почти легендарными. Во многом благодаря ему астрономы пришли к пониманию обычных звезд, таких как Солнце и Сириус: их строения, атмосферы и света, который они излучают. Поэтому, естественно, члены Общества, как и астрономы всего мира, внимали ему с великим уважением. Естественно, раз Эддингтон думал, что анализ Чандрасекхара неверен, он должен был быть неверным.

После заседания к Чандрасекхару один за другим подходили члены Общества с выражением сочувствия. «Я печенкой чувствую, что Эддингтон прав», — заявил ему Милн.

На следующий же день Чандрасекхар обратился за поддержкой к своим друзьям-физикам. Вот что он писал Леону Розенфельду в Копенгаген: «Если Эддингтон прав, то вся моя четырехмесячная работа идет в корзину. Но прав ли Эддингтон? Я очень хотел бы узнать мнение Бора.» (Нильс Бор был одним из отцов квантовой механики и самым уважаемым физиком в 30-х годах.) Розенфельд ответил спустя два дня, уверив, что и он, и Бор убеждены, что Эддингтон ошибается и прав Чандрасекхар. «Могу только сказать, что твое письмо меня удивило, — писал он. — Поскольку никто и никогда не думал оспаривать уравнения [которые Чандрасекхар использовал для получения сопротивления $4/3$], замечание Эддингтона, приведенное в твоём письме, выглядит крайне непонятным. Думаю, тебе следует приободриться и не позволять запугать [sic] себя верховным жрецом». В следующем письме, отправленном в тот же день, Розенфельд писал: «Мы с Бором абсолютно не в состоянии разглядеть какой-либо смысл в утверждениях Эддингтона».

Однако для астрономов суть дела сначала не была столь прозрачной. Они не были искусны в тонкостях квантовой механики и теории относительности, и среди них авторитет Эддингтона удерживал господство еще несколько лет. Но и позже Эддингтон продолжал упорно держать оборону. Он был настолько ослеплен своим неприятием черных дыр, что утратил здравый смысл. Он так хотел, чтобы «существовал закон природы, не позволяющий звездам вести себя столь абсурдным образом», что вплоть до самой

смерти в 1944 г. продолжал верить в то, что такой закон действительно есть, хотя фактически такого закона не существовало.

К концу 30-х годов астрономы, объяснившись с коллегами-физиками, поняли ошибку Эддингтона, но уважение к его огромным прежним достижениям не позволяло заявлять об этом публично. В 1939 г. в Париже в своем выступлении на астрономической конференции Эддингтон вновь атаковал выводы Чандрасекхара. Как только Эддингтон начал нападать на него, Чандрасекхар послал председателю конференции Генри Норрису Расселлу (знаменитому астроному из Принстонского университета в Америке) записку, в которой просил позволить ему выступить. В ответной записке Расселл написал: «Я бы не хотел, чтобы вы делали это», хотя ранее в тот же день в частной беседе сказал: «Здесь мы не верим Эддингтону».

Полностью приняв наконец (хотя и за спиной Эддингтона) предельную массу белых карликов, полученную Чандрасекхаром, были ли они готовы допустить, что во Вселенной должны существовать черные дыры? Вовсе нет. Если природа не противопоставила им закона типа того, который искал Эддингтон, она, конечно же, найдет другой выход. Так, возможно, каждая массивная звезда в процессе старения или в предсмертной агонии извергает в межзвездное пространство достаточно вещества, чтобы уменьшить свою массу до 1,4 солнечной и тем самым войти в более безопасную «могилу» белого карлика. Это была точка зрения, на которую встало большинство астрономов после поражения Эддингтона, и придерживались ее в течение 40-х и 50-х годов, а многие — и в начале 60-х.

Что касается Чандрасекхара, его больно ранил весь этот спор с Эддингтоном. Он вспоминал много лет спустя: «Я чувствовал, что все астрономы без исключения думали, что я неправ. Они считали меня кем-то вроде Дон Кихота, пытающегося убить Эддингтона. Можете себе представить, каким переживанием это стало для меня — оказаться втянутым в спор с главной фигурой в астрономии, тогда как моя работа была полностью и окончательно дискредитирована астрономическим сообществом. Я должен был для себя решить, что делать дальше. Должен ли я посвятить всю оставшуюся жизнь этой борьбе? В то время я был в середине своего третьего десятилетия и планировал еще лет тридцать-сорок заниматься научной деятельностью, поэтому просто не думал, что было бы продуктивным постоянно отстаивать уже сделанное. Гораздо лучше

было бы сменить область интересов и заняться чем-либо иным».

Поэтом в 1939 г. он повернулся спиной к белым карликам и смерти звезд и не возвращался к ним четверть века.

А что же Эддингтон? Почему он так сурово обошелся с Чандрасекхаром? Эддингтону такое обращение могло вовсе и не казаться плохим. Резкие и бескомпромиссные интеллектуальные конфликты были его образом жизни. Такое обхождение с Чандрасекхаром являлось даже в какой-то степени мерой уважения, знаком того, что он признает Чандрасекхара членом астрономического сообщества. Фактически начиная с первого столкновения в 1935 г. и до самой смерти в 1944 г. Эддингтон проявлял теплое личное расположение к Чандрасекхару, и Чандрасекхар, хотя и задетый спором, отвечал тем же.

К началу 40-х годов Эддингтон утратил взвешенный подход к тому, что правильно в физике и астрофизике, а что нет; что имеет шанс быть в конце концов подтверждено экспериментом, а что нет; что увязывается

логическим образом с хорошо установленными законами физики, а что не увязывается. Его утверждения 1935 г. относительно того, как следует сопрягать специальную теорию относительности с квантовой теорией, чтобы избежать образования черных дыр, были первым знаком такой утраты здравого восприятия. К подобному заключению подводит его книга «Фундаментальная теория», изданная вскоре после его смерти. «Маразм», «сумасбродство» — вот те нелестные слова, которыми в научном мире обычно характеризуют взгляды, аналогичные содержащимся в этой книге.

Пример необычайно одаренного и продуктивного ученого, интеллектуального гиганта, к старости впавшего в маразм, все-лет страх в сердца пожилых физиков, таких как я, особенно когда мы начинаем рассуждать о таких вещах, как «машина времени».

(Продолжение следует)

Перевод с английского М. Л. Городецкого

НОВОСТИ НАУКИ

Астрономия

Откуда приходят кометы!

Более пяти лет назад появилась гипотеза о существовании за орбитой Нептуна пояса Койпера — скопления сравнительно небольших небесных тел, в котором формируются кометы. Математики Х. Левисон (H. Levison; Юго-Западный исследовательский институт, Сан-Антонио, Техас, США) и М. Данкен (M. Duncan; Королевский университет, Кингстон, провинция Онтарио, Канада), решив проверить эту гипотезу, ввели в память мощной ЭВМ все имеющиеся сведения об орбитах мелких небесных тел, наблюдаемых в этой области, и вычислили силы тяготения ближайших планет, оказывающих воздействие на их движение; при этом модель условно долж-

на была охватить по меньшей мере 1 млрд. лет.

С целью проверки собственной модели ученые вычислили орбиты четырех планет-гигантов — Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна, а затем использовали ту же программу для расчета орбит более тысячи мелких небесных тел, удаленных от Солнца на 30—50 а. е. Модель не только подтвердила реальное существование пояса Койпера, но и показала, что он имеет весьма сложное строение.

К настоящему времени почти все кометы, находившиеся в пределах 34 а. е., уже оказались извлеченными из пояса Койпера силами тяготения. Однако все еще существуют две области особенно стабильных орбит, на которых небесные тела держатся достаточно прочно. Одна из них расположена на расстоянии около 36 а. е. от Солнца, другая — свыше 40 а. е.

Хотя астрономический объект, попавший на эти ста-

бильные орбиты, может существовать там длительное время, но и он в конце концов будет «вытянут» возмущениями, создаваемыми силами тяготения больших планет. При этом он неизбежно перейдет на орбиту, которая пересекает орбиту Нептуна и затем направится в сторону Солнца. По-видимому, такова история известнейшей кометы Галлея.

Весьма вероятно, что и недавно открытый объект 1992 QB1 происходит из пояса Койпера. Он находится на почти правильной круговой орбите, проходящей в 41 а. е. от Солнца, т. е. в одной из зон стабильности, определенных данными исследователям. Возможно, это лишь первый из большого числа объектов, которые предстоит открыть в области, находящейся между 35 и 45 а. е. от Солнца.

The Astrophysical Journal. 1993. V. 406. P. L35 (США).

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1993 ГОДА

По физике — Р. Халсе и Дж. Тейлор

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ по физике 1993 г. присуждена американским астрономам Р. Халсе и Дж. Тейлору за обнаружение нового типа пульсаров, что расширило возможности в изучении гравитации.

Рассел Халсе (Russell A. Hulse) родился 28 ноября 1950 г. в Нью-Йорке. Степень доктора философии по физике получил в 1975 г. в Массачусетском университете в Анхерсте (штат Массачусетс, США). В настоящее время — сотрудник лаборатории физики плазмы Принстонского университета (штат Нью-Джерси, США).

Джозеф Тейлор (Joseph H. Taylor) родился 29 марта 1941 г. в Филадельфии. Степень доктора философии по астрономии получил в 1968 г. в Гарвардском университете. В 70-е годы занимал должность профессора в Массачусетском университете, где был научным руководителем Р. Халсе. Сейчас — профессор физического факультета Принстонского университета, член Национальной академии наук США.

В 1918 г., через два года после своей первой, основополагающей работы по общей теории относительности, А. Эйнштейн опубликовал еще одну работу, логически следующую из первой. В ней предсказывалось существование гравитационных волн, которые излучаются неравномерно движущимися массами. Многие десятилетия отношение экспериментаторов к возможности обнаружения этого качественно нового явления было весьма пессимистическим. Причина этого — низкая эффективность преобра-



Дж. Тейлор и Р. Халсе.

зования механической энергии колеблющихся (или вращающихся) масс в гравитационное излучение. Это обусловлено тем, что в гравитации нет разноименных зарядов, поэтому излучение от них не может быть дипольным, а лишь квадрупольным. Оно пропорционально квадрату массы и шестой степени частоты колебания (или вращения), и пока не удалось придумать источника гравитационного излучения с такой комбинацией большой массы, амплитуды и частоты колебаний, чтобы в лабораторных условиях получить гравитационное излучение с достаточной для обнаружения мощностью.

Первым, кто обратил внимание на возможность решить эту проблему, используя массивные астрофизические объекты (пропорциональность квадрату массы), был В. А. Фок. В его книге «Пространство, время, тя-

готение» (1948) есть такая оценка: Юпитер, вращающийся вокруг Солнца, излучает около 400 Вт энергии в виде гравитационного излучения. В начале 60-х годов в результате астрофизических наблюдений стало очевидным, что очень многие звезды входят в тесные двойные системы и должны быть довольно мощными источниками гравитационного излучения (некоторые звездные пары излучают около 0,1 % мощности, испускаемой Солнцем в виде оптического электромагнитного излучения).

Период такого излучения вдвое короче периода обращения, а из-за относительно большой его мощности появилась надежда косвенного обнаружения существования гравитационного излучения. Двойная звезда, теряя энергию на излучение, может черпать ее только из энергии статического (ньютоновского) взаимодействия, в результате чего звез-

ды должны сближаться и период их обращения, соответственно, сокращаться. Этот эффект, вполне измеримый с инструментальной точки зрения (относительное изменение периода обращения по порядку величины 10^{-11} за земной год), к сожалению, трудно отделить у обычных двойных звезд от другого эффекта — изменения периода из-за перетекания массы одной, более легкой, звезды в более тяжелую. Таким образом, для наблюдения эффекта нужны тесные двойные системы с малым периодом обращения (несколько часов), но со значительно более компактными компонентами, с тем чтобы не иметь дела с эффектом перетекания массы. Такие

звезды были открыты в 1967 г. А. Хьюишем из радиоастрономической обсерватории в Кембридже (Нобелевская премия 1974 г.). Это так называемые пульсары.

Пульсар — вращающаяся нейтронная звезда с магнитным моментом (его ось не совпадает с осью вращения), массой, близкой к массе Солнца, и диаметром, на пять порядков меньшим (l) солнечного. Следующий естественный шаг, которого можно было ожидать, — это открытие двойного пульсара (обе звезды нейтронные). Он был сделан Р. Халсе и Дж. Тейлором в 1974 г. Таким образом, «условия» для открытия эффекта изменения периода обращения, вызванного гравитационным

излучением, были созданы. Многолетние, кропотливые измерения для гравитационного излучения. Уместно отметить, что, наряду с удачей, в распоряжении будущих лауреатов были два ключевых «элемента», созданных радиофизиками: высокочувствительный 300-метровый радиотелескоп (в Аресибо, Пуэрто-Рико) и атомный стандарт частоты. Нобелевский комитет высоко оценил эту работу, присудив авторам премию по физике за 1993 год.

© В. Б. Брагинский,
член-корреспондент РАН

По химии — М. Смит и К. Муллис

Дух истинно высокий чуждается
исхоженных троп. Он ищет путей
доселе не изведанных.

А. Линкольн

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ по химии за 1993 г. присуждена канадцу М. Смитю за фундаментальный вклад в разработку основанного на использовании олигонуклеотидов метода сайт-направленного мутагенеза и его развитие для исследования белков и американцу К. Муллису за открытие метода полимеразной цепной реакции (ПЦР).

Майкл Смит (Michael Smith) родился 26 апреля 1932 г. в Блэкпуле (Англия), высшее образование получил в Манчестерском университете: в 1953 г. — степень бакалавра, а в 1956 г. — доктора философии, что рано даже по европейским стандартам, не говоря уже об американских. Постдокторат Смит провел в 1956—1960 гг. в Ванкувере (Канада) под эгидой Исследовательского совета провинции Британская Колумбия, затем работал в Висконсинском университете (Мадисон, США), некоторое время возглавлял химический отдел Ванкуверской лаборатории Канадского совета по рыболов-



М. Смит.

ству, а с 1966 г. работает в Университете Британской Колумбии (Ванкувер, Канада). В настоящее время он заведует лабораторией биотехнологии и является профессором факультета

биохимии и молекулярной биологии этого университета. Кроме того, он научный руководитель Комплекса по белковой инженерии — составной части общеканадской системы, включающей 15 Центров Совершенства (Centres of Excellence). Член Канадского и Лондонского королевских обществ.

В выборе Смитом места для постдокторской (т. е. постлеаспирантской) работы решающую роль, несомненно, сыграл случай — объяснить это проницательностью Смита означало бы признать в нем сверхчеловеческий дар предвидения. В самом деле, в 1956 г. он отправился в Ванкувер к человеку, всего лишь десятью годами старше его самого и никому в то время ~~не~~ известному за пределами узкого круга людей, занимавшихся химией нуклеотидов. А ведь этот шаг совсем еще молодого Смита определил все самое существенное в его судьбе — город, с которым оказалась связанной почти вся его дальнейшая жизнь (сам он совсем недавно сказал об этом

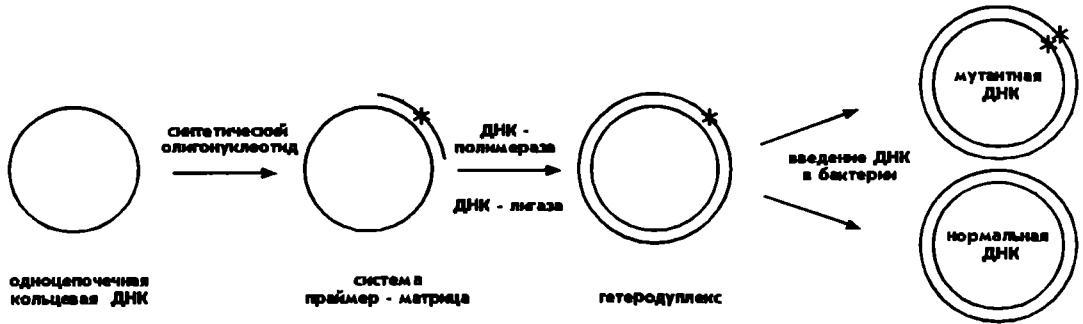


Схема метода сайт-направленного мутагенеза. Звездочкой обозначена точечная мутация, введенная в праймер.

так: «Я думал съездить в Ванкувер на год, а остался там на всю жизнь»), нуклеотидную тематику, далеко не очевидную в те «баснословные года», и, как ее следствие, саму Нобелевскую премию. Кстати, награду, которую только что получил Смит, можно рассматривать как премию четвертого поколения. Ибо в те далекие 50-е годы в Ванкувере Смит оказался первым постдоком человека, породившего олигонуклеотидный синтез, успешно использовавшего его для расшифровки генетического кода, синтезировавшего первый искусственный ген (эту «атомную бомбу XXI века», по словам классика биохимии А. Корнберга) и быстро проделавшего путь от ванкуверского затворника до мировой знаменитости, уже в 1968 г. получившего Нобелевскую премию по медицине. Разумеется, речь идет о Х. Г. Коране. Нобелевская генеалогия легко прослеживается: Корана в молодости работал с В. Прелогом и А. Тоддом, учителями которых были соответственно Л. Ружичка и Р. Робинсон (все — лауреаты); к тому же в 1971—1972 гг. Смит стажировался у Ф. Сенгера, который в то время не только уже был нобелевским лауреатом, но и проводил исследования, впоследствии принесшие ему совсем уж редкостный триумф — вторую Нобелевскую премию по химии.

Катон Старший на вопрос, почему он не удостоен высшей в Риме почести — бюста в Пантеоне, отвечал: «Пусть лучше спрашивают, почему бюст Катона не стоит в Пантеоне, чем

спрашивали бы, почему он там стоит». Система присуждения Нобелевских премий, по крайней мере по науке, разработана настолько хорошо, что по существу неизвестны случаи обоснованных сомнений в том, что премия присуждена за дело. Едва ли не любой специалист в соответствующей области, услышав имя лауреата, может быстро и связно рассказать, что за этим стоит, и, может быть, даже написать об этом статью. Смит широко известен как основатель сайт-специфического мутагенеза. Сначала, на всякий случай, несколько дефиниций.

Мутацией (от лат. *mutatio* — изменение; вспомним знаменитое «мутабор» у В. Гауфа) называют наследуемое изменение генетического материала, а мутагенозом — совокупность действий, которые приводят к таким изменениям. Генетическому материалу клетки необходим высокий уровень консервативности, чтобы обеспечить видовую устойчивость живых существ. Однако полная стабильность остановила бы эволюцию. В качестве разумного компромисса существует естественный фон мутаций, определяемый особенностями биосинтетического аппарата клетки и факторами окружающей среды. Интерес к носителям наследуемых изменений как возможному источнику организмов с новыми перспективными свойствами возник задолго до появления самого понятия мутации — об этом свидетельствует многовековая история выведения новых сортов растений и пород животных.

Потом наступил период классической (предмолекулярной) генетики — его начало

совпало с началом XX в., когда после многолетнего забвения были заново открыты законы Менделя. На этом этапе мутации стали одним из важнейших объектов и двигателей исследований. Был сделан принципиально важный шаг — от вылавливания мутаций, существующих в природе, к их созданию (пока еще не направленному) путем воздействия на клетки химическими и физическими мутагенами. Разумеется, до направленного мутагенеза в то время было еще очень далеко.

Любое такое воздействие вызывало множество разнообразных мутаций в различных клетках, так что основная часть работы приходилась на то, чтобы среди множества незатронутых и мутантных клеток обнаружить носителей мутаций, представляющих определенный интерес. За половину столетия, отделяющую начало формальной генетики от начала генетики молекулярной (последнее обычно относят к тому же моменту, что и возникновение молекулярной биологии — появлению концепции двойной спирали в 1953 г.), был получен огромный материал по мутациям, давший очень много для развития генетики. При этом, однако, оставалось неясным, что именно происходит на молекулярном уровне, и даже сама химическая природа молекул, претерпевающих мутации, оставалась спорной. Работа О. Эйвери, К. Маклеода и М. Маккарти по трансформации у бактерий (1944) послужила решающим доводом в пользу того, что носителем генетической информации является ДНК, а после знаменитой публикации Дж. Уотсона и Ф. Крика (1953)

это не только стало общепризнанным, но и получило четкое молекулярное обоснование.

Итак, молекула, в которой клетка хранит наследственную информацию, представляет собой двухцепочечную дезоксирибонуклеиновую кислоту — комбинацию двух (дуплекс) закрученных в виде спирали полинуклеотидов, каждый из которых состоит из монотонного углевод-фосфатного полимера и соединенных с остатками сахара (дезоксирибозы) гетероциклических оснований: аденина (А), гуанина (G), цитозина (С) или тимина (Т). Именно в специфической последовательности этих оснований заключена генетическая информация. Обе цепи ДНК (в каждой из них два неравноценных конца обозначаются 5' и 3') взаимно комплементарны: каждому из остатков А в одной цепи строго соответствует Т в другой, а остатку G — остаток С. Эти остатки соединены между собой набором водородных связей, которые обеспечивают специфичность образования дуплекса и вносят существенный вклад в его стабилизацию.

В клетке ДНК копирует (реплицирует) саму себя: двойная спираль расплетается, и на каждой из цепей, функционирующих в качестве матрицы, синтезируется комплементарная ей нить, в результате чего образуются две новые двухцепочечные ДНК, в точности воспроизводящие исходную. Сама по себе ДНК в клетке служит хранилищем и источником наследственной информации, тогда как ключевыми участниками многообразных клеточных процессов являются продукты реализации (экспрессии) этой информации — рибонуклеиновые кислоты (РНК) и белки, структура которых определяется ДНК и может изменяться при возникновении в ней мутаций. Обычно мутации связаны с заменой одних нуклеотидов на другие, а также с появлением дополнительных или изъятием имеющихся нуклеотидных звеньев (соответственно вставки и делеции). ДНК — консервативное начало клетки, сохранение ее структуры служит непременным условием сохранения клеткой ее индивидуальности.

Вот почему в клетке сделано все, чтобы уберечь ДНК от изменений, а если что-то случается, то как можно быстрее ликвидировать эти изменения, вернуть ДНК к исходному состоянию, прежде чем возникшее изменение закрепится в потомстве клетки.

Таким образом, появление мутагенов сделало возможным получение наборов мутаций, беспорядочно распределенных по цепи ДНК. Смит сумел сделать следующий, принципиально важный шаг: он разработал метод, позволяющий вводить мутации в строго определенные места ДНК и тем самым направленно изменять заложенную в ней генетическую информацию. Поскольку эта информация в дальнейшем воплощается в структуру и в конечном счете в функциональную активность белков, предложенный Смитом метод делает в принципе возможным направленное воздействие на множество протекающих в клетке биологических процессов. По существу метод моделирует то, с чем клетка энергично борется: сначала мутация вводится в одну из цепей ДНК, а потом, в результате матричного синтеза второй цепи, образуется двухцепочечная ДНК, содержащая мутацию и готовая к репликации, т. е. к закреплению этой мутации в потомстве.

Для создания метода направленного мутагенеза Смит использовал возможности химического синтеза, позволяющего получать олигодезоксирибонуклеотиды, т. е. участки ДНК, любой желаемой структуры. В качестве первого объекта исследования он взял одноцепочечную кольцевую ДНК бактериофага ФХ174 — именно с этим фагом он работал во время стажировки у Сенгера, занимаясь выяснением ее первичной структуры. Хотя обычно одноцепочечную ДНК получить не просто, в случае этого и некоторых других вирусов она оказывается легкодоступной. В то же время в ходе размножения вируса эта ДНК проходит этап более привычного для нас двухцепочечного состояния. Ниже мы увидим, что для осуществления метода, разрабатываемого Смитом, нужны были

обе эти формы ДНК — как одноцепочечная, так и двухцепочечная.

Если синтезировать одноцепочечный олигонуклеотид, полностью комплементарный тому участку ДНК, в котором планируется замена, то с этим участком он образует дуплекс, кусочек двойной спирали. С помощью фермента ДНК-полимеразы олигонуклеотид в составе такого дуплекса может быть достроен (элонгирован) по 3'-концу вплоть до образования второй полноразмерной цепи, комплементарной ДНК-матрице (в такой системе олигонуклеотид называют праймером или затравкой), после чего другой фермент, ДНК-лигаза, способен сшить концы цепи, ликвидировав остающийся разрыв. В результате образуется кольцевая двухцепочечная ДНК, идентичная промежуточному продукту размножения фага; одна из цепей этой ДНК присутствует в самом фаге. Подобная последовательность операций была проделана еще в 60-е годы Корнбергом, который, таким образом, впервые показал возможность получения в пробирке «живого организма» (в той мере, в какой фаг можно считать организмом, — тема давних и давно изжитых дискуссий). В качестве праймера Корнберг использовал фрагмент ДНК, вырезанный с помощью специальных ферментов, эндонуклеаз рестрикции, — в то время синтез каждого олигонуклеотида был серьезным достижением.

В середине 70-х годов, когда Смит приступил к разработке путей направленного мутагенеза, синтетические олигонуклеотиды стали намного доступнее, хотя подлинный расцвет олигонуклеотидного синтеза пришелся лишь на следующее десятилетие. Во всяком случае в это время уже вполне можно было позволить себе варьировать структуру праймеров. Благодаря этому Смит мог не только придумать, но и сделать принципиальный шаг: в системе матрица — праймер он заменил в составе праймера одно из азотистых оснований.

Такая замена нарушает комплементарность в соответствующем месте двухцепочечного участка ДНК — возникает

несоответствие (mismatch), локальный дефект двойной спирали. Однако остальные пары оснований в результате замены остаются незатронутыми, точнее, почти незатронутыми, причем небольшая степень изменения взаимного расположения других звеньев быстро убывает по мере удаления от возникшего дефекта. Существенно, чтобы при замене не изменилась двухцепочечная структура с участием концов праймера; поэтому место замены нуклеотидного звена располагается посредине праймера — на максимальном удалении от обоих его концов. В этих условиях элонгация мутантного праймера под действием ДНК-полимеразы протекает аналогично элонгации исходного, полностью комплементарного праймера. После того как синтез второй цепи завершен и с помощью ДНК-лигазы соединены между собой ее 3'- и 5'-концы (вот почему важно, чтобы в системе матрица-мутантный праймер двухцепочечность сохранялась в районе не только 3', но и 5'-конца праймера), образуется фаговая двухцепочечная ДНК, содержащая дефект двойной спирали, запрограммированный изменением в праймере. Репликация этой ДНК, при которой происходит копирование каждой из двух цепей, дает два двухцепочечных продукта, один из которых вообще не содержит мутации, а другой содержит мутацию в обеих цепях. Именно эта вторая версия служит воплощением акта мутагенеза — последующая ее репликация дает уже только мутантную ДНК. В результате образуется зрелый бактериофаг, в котором окруженная белковой оболочкой одноцепочечная ДНК несет в одном из генов мутацию, полученную с помощью олигонуклеотида и расположенную в точке генома, заранее выбранной экспериментатором. Отсюда название метода — осуществленный с помощью олигонуклеотида сайт-направленный мутагенез.

Может создаться впечатление, что все это некая частность, связанная с бактериофагами, а вовсе не общий метод модификации генома. На деле фаг, точнее, его ДНК,

может служить средством манипуляции с ДНК из любого источника. С помощью методов генетической инженерии в двухцепочечную фаговую ДНК может быть встроены ген любого другого организма, так чтобы жизненный цикл фага при этом оставался незатронутым. В этом случае ген становится неотъемлемой частью фагового генома, размножается вместе с ним, может быть подвергнут направленному мутагенезу в его составе и вместе с тем легко может быть извлечен из него для дальнейших манипуляций. Основным достоинством таких фагов с точки зрения направленного мутагенеза является доступность одноцепочечной ДНК, необходимой для функционирования описанной выше системы матрица-праймер. Развитие методов мутагенеза привело к тому, что стало возможным без особых проблем получать одноцепочечную ДНК из любой плазмиды, используемой в генетической инженерии для конструирования рекомбинантных молекул ДНК, в результате чего одноцепочечные фаги утратили свое исключительное положение.

Обсуждавшийся выше пример иллюстрирует создание так называемой точечной мутации, представляющей собой замену одного нуклеотида. Оказалось, что аналогичный подход может приводить к делециям и вставкам, также программируемым соответствующими изменениями в праймере по сравнению с последовательностью, полностью комплементарной матрице.

Благодаря появлению метода Смита и развитию иных подходов к направленному мутагенезу, бесспорно, им инициированных, возникла концепция белковой инженерии, немалая еще каких-нибудь десять лет назад. Поскольку стало реальным менять любой нуклеотид в цепи ДНК, открылась принципиально неограниченная возможность варьировать аминокислотные остатки в цепи соответствующего белка.

Генетическая информация в ДНК закодирована последовательностью тринуклеотидов (триплетов), причем генетический код вырожден — большинству аминокислот отвечают

два и более разных триплетов. Это означает, что не всякая мутация ведет к изменению аминокислотной последовательности белка. Вместе с тем, пользуясь таблицей генетического кода, нетрудно рассчитать ту нуклеотидную замену, в результате которой должна произойти желаемая замена аминокислотного остатка в соответствующем белке. Таким образом, можно вводить любые направленные изменения в белок, исследуя закономерности превращения одномерной полипептидной цепи в трехмерную функционально активную белковую молекулу, локализацию функционально наиболее важных участков белка, связь между его структурой и функцией, особенно в области активного центра. Появилась возможность модифицировать существующие белки в стремлении воздействовать на такие их свойства, как субстратная специфичность, термическая устойчивость, оптимальная кислотность среды для проявления активности, способность функционировать в неводных средах. Если возможности направленного мутагенеза недостаточны и требуется аминокислотная последовательность, не имеющая аналогов в природе, может быть осуществлен полный синтез соответствующего гена и его экспрессия.

Наступила эра молекулярного дизайна, перспективы которой воображению охватить нелегко. Можно рассчитывать на ускоренный прогресс фундаментальных знаний о механизмах биологической активности белков и нуклеиновых кислот и вместе с тем на важнейшие практические выходы, связанные с проблемами промышленности и медицины. Биохимизация химии — широкое внедрение специально сконструированных белковых катализаторов в химическую промышленность — должна поднять ее продуктивность и привести к кардинальным улучшениям экологической ситуации. Обнаружение РНК-ферментов (рибозимов), которые можно получать и модифицировать через стадию ДНК, открыло новую главу как в фундаментальных исследованиях биополимеров, так и в перспективах лечения разнообразных вирусных заболеваний, в первую

очередь СПИДа. Многим обязана методу направленного мутагенеза делающая еще довольно робкие шаги, но все же ставшая уже реальностью генная терапия.

Поразительным образом расширяет возможности направ-

ленного мутагенеза разделивший с ним нобелевский триумф этого года «метод века» — полимеразная цепная реакция. Оба достижения, отмеченные Нобелевской премией по химии за 1993 г., являются выдающимися методическим вкладом в

союз химии и биологии — вкладом, значение которого непреходяще.

© Ю. А. Берлин,
доктор химических наук
Институт биоорганической химии
РАН
Москва

Кэри Муллис (Kary B. Mullis) родился 28 декабря 1944 г. в Леноре (штат Северная Каролина, США). Степень доктора философии по биохимии получил в 1972 г. в Калифорнийском университете (Сан-Франциско) и после работы в ряде университетов США в 1979 г. занялся исследовательской деятельностью в биотехнологической компании «Cetus Corporation» (Эмеривилл, Калифорния). В 1988 г. стал директором фирмы «Hygro-nix» (Сан-Диего, Калифорния), сейчас он — частный консультант.

О себе Муллис говорит как о человеке широких интересов, но с пристрастием к химии. Действительно, он и изобретатель пластика, быстро меняющего цвет под действием УФ-излучения, и автор статьи (еще в аспирантские годы) «Космологический смысл обращения времени». Как создатель метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) Муллис стал известен за пределами «Cetus Corporation» с 1985 г.

Полимеразная реакция, т. е. синтез ферментом ДНК-полимеразой новых молекул ДНК при ее самовоспроизведении (репликации) в клетке, открыта А. Корнбергом более 30 лет назад (в 1959 г. он разделил с С. Очоа Нобелевскую премию по физиологии и медицине за открытие механизмов биологического синтеза дезоксирибонуклеиновой и рибонуклеиновой кислот). Тогда Корнберг вместе с Дж. Ледербергом, нобелевским лауреатом 1958 г. (за открытия, касающиеся генетической рекомбинации и организации генетического материала у бактерий) высказывали мысль, что кто-нибудь «оседлает» полимеразу и будет получать большое количество



К. Муллис.

ДНК. Свершилось это более чем через 20 лет.

Через невероятное стечение многих обстоятельств, наивных и смешных ошибок, как пишет сам Муллис¹, он пришел к открытию внезапно, как будто натолкнулся на процесс, который мог привести к синтезу неограниченного числа копий генов. Но все же открытие возникло не на пустом месте. В 1979 г. Муллиса наняла компания «Cetus Corporation» для синтеза олигонуклеотидов, которые широко использовались тогда в исследованиях структуры ДНК и нужны были в большом количестве. Муллис с коллегами по «Cetus» получали их вручную. Это было трудное и очень причудливое химическое искусство, но вскоре процесс был автоматизирован, и синтез каждого олигонуклеотида перестал быть достижением.

Тем не менее Муллис решил синтезировать олигонуклеотиды по-иному — ориентируясь

на природный процесс репликации ДНК. Если создать систему матрица — праймер из ДНК и небольшого олигонуклеотида, последний можно достроить до желаемого размера с помощью ДНК-полимеразы за счет последовательного присоединения к его 3'-концу нуклеотидтрифосфатов.

В клетке, как известно, снимаются сразу две копии ДНК — с каждой ее цепи по одной. Значит, возможен и синтез олигонуклеотидов одновременно на двух нитях ДНК. Этот естественный путь получения олигонуклеотидов почему-то никому не приходил в голову, и именно он стал основой полимеразной цепной реакции, разработанной Муллисом. Метод на удивление прост, для его исполнения нужна всего лишь обычная пробирка, несколько простых реагентов и источник тепла. ДНК (или ее фрагмент) денатурируется (разводятся ее цепи) при повышенной температуре, затем за счет комплементарности каждая цепь гибридизуется со своим праймером, после чего ДНК-полимераза достраивает его. В результате, как и в клетке, образуются два дуплекса — двухцепочечные фрагменты, в которых имеются две нити исходной ДНК и две вновь синтезированные. Таким образом, в каждом цикле синтеза число олигонуклеотидных фрагментов удваивается, и за 10 циклов образуется 1000 копий исходной матрицы, за 20—2²⁰ копий!

Правда, ПЦР ограничивалась тем, что используемая ДНК-полимераза (это был фермент Корнберга, выделенный из кишечной палочки) инактивировалась в высокотемпературных условиях реакции синтеза. Ее приходилось многократно добавлять в смесь, а это приводило к накоплению и самой

¹ Mullis K. // Scientific American. 1990. N 4. P. 36—43.

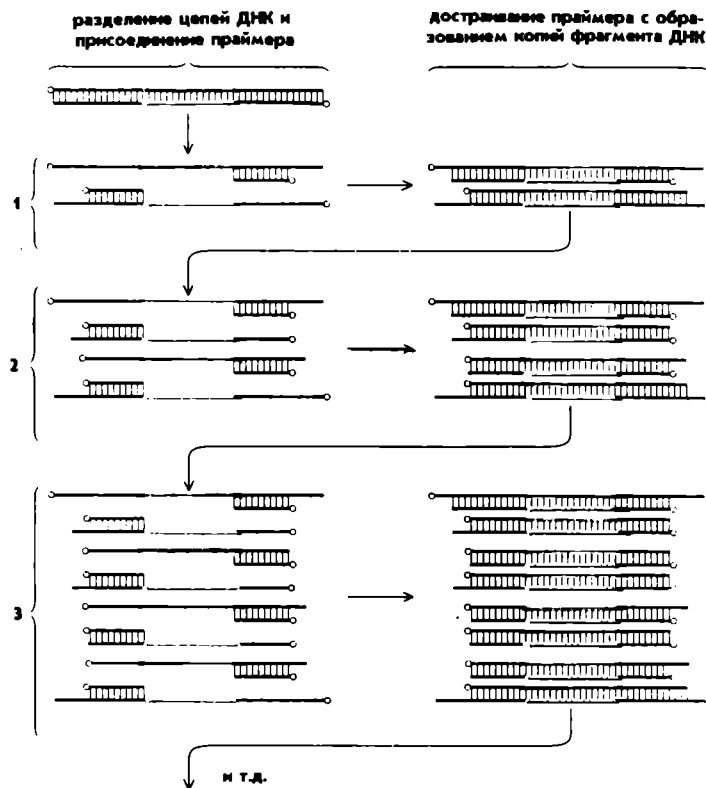


Схема полимеразной цепной реакции. В этом циклическом процессе в ходе каждого цикла число копий размножаемого фрагмента ДНК удваивается, т. е. растет в геометрической прогрессии. На рисунке приведены только первые три цикла.

неактивной полимеразы, и неизбежно сопутствующих примесей. В результате реакция застухала. Затем, когда Муллис стал использовать полимеразу, которую продуцирует термофильная бактерия *Thermus aquaticus*, живущая в горячих источниках (на эту мысль, по признанию Муллиса, его нашла работа наших соотечественников — С. И. Городецкого и его коллег, где описывалась ДНК-полимераза из трех видов термофильных бактерий, в том числе и из *T. aquaticus*²), затруднения с инактивацией фермента исчезли. Единжды — в начале первого цикла — добавленный в реак-

ционную смесь, он работает все время, пока ведется ПЦР. Термостабильный фермент теперь получают генно-инженерным способом во многих фирмах и организациях самых разных стран. (Кстати, по поводу TaqДНК-полимеразы, точнее, патента на ее получение, возник международный конфликт, который пока еще не разрешен³.)

Слов нет, ПЦР сильно облегчила жизнь молекулярных биологов и молекулярных генетиков: они могут получать столько нужных им генов, сколько необходимо для исследования, составления библиотек генов и т. д. Метод очень технологичен и сейчас, будучи автоматизирован, он позволяет амплифицировать (размножать) интересующий участок ДНК в миллионы раз в течение нескольких часов.

Широчайшее применение нашла ПЦР в медицине. Эта реакция оказалась вне конкурен-

ции с другими методами выявления многих вирусных заболеваний, в том числе СПИДа и вялотекущих инфекций, вызываемых вирусами, геном которых представлен в клеточной ДНК единичным экземпляром; ПЦР незаменима в пренатальной диагностике наследственных заболеваний, таких, например, как серповидноклеточная анемия — болезнь, обусловленная единственной точечной мутацией в гене β -глобина. По крошечному образцу ткани теперь можно проследить все этапы возникновения опухоли; по высохшей капле крови или небольшому волоску можно идентифицировать преступника и т. д.

Еще одна область медицинского приложения ПЦР — иммунная система. Иммунитет специфический и неспецифический, гуморальный и клеточный каждый по-своему охраняет наше здоровье и каждый по-своему контролируется. С помощью ПЦР после определенного воздействия буквально на единичную клетку можно узнать, какие гены контролируют синтез тех или иных соединений в иммунном ответе, чтобы при необходимости вмешаться: стимулировать работу недостаточно активного гена или выключить сверхактивный.

Возможности биологической науки с открытием полимеразной цепной реакции расширились необычайно. Исследователи ранних стадий развития живого организма получили в руки мощнейший инструмент, и можно надеяться, что не за горами то время, когда удастся понять, как происходит дифференцировка клеток, начиная с первых делений зиготы, какие гены работают, а какие выключаются на разных этапах развития человеческого организма, и построить то молекулярное дерево, которое обуславливает формирование эмбриона.

Эволюционные древа долгое время строились по сходству и различиям множества анатомических и морфологических признаков, наконец, возникла геносистематика, и специалистами стали оперировать результатами анализа геномов. А в этом ПЦР не знает ограничений, поскольку позволяет работать с геномами любых совре-

² Каледин А. С., Слюсаренко А. Г., Городецкий С. И. // Биохимия. 1980. Т. 45. С. 644—651.

³ Dickson D. // Nature. 1993. V. 364. N 6432. P. 2.

менных организмов и даже давно вымерших. Например, для эволюционных построений можно размножить ДНК, выделенную из ткани мумифицированного мозга или шерсти мамонта, пролежавшего в вечной

мерзлоте более 40 тыс. лет. Самый яркий пример подобного рода — амплификация генов насекомого, 20 млн. лет пребывавшего в кусочке янтаря.

Пророческие слова Корнберга и Ледерберга сбылись в

1985 г.: Муллис «оседлал» полимеразу и дал исследователям метод, поистине достойный самой высокой оценки — Нобелевской премии.

© Л. П. Белянова,
кандидат химических наук
Москва

По физиологии и медицине — Р. Робертс и Ф. Шарп

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ по физиологии и медицине за 1993 г. присуждена двум американским ученым Р. Робертсу и Ф. Шарпу за открытие прерывистой структуры генов, имеющее принципиальное значение не только для фундаментальных исследований в области молекулярной биологии, но и для более специальных медицинских работ, касающихся диагностики и лечения рака и многих наследственных заболеваний.

Ричард Дж. Робертс (Richard J. Roberts) родился 6 сентября 1943 г. в Дерби (Великобритания). Учился в Шеффилдском университете, где в 1965 г. получил степень бакалавра по химии, а в 1968 г. — докторскую степень по органической химии. С 1969 по 1972 г. работал в Гарвардском университете, сменив амплуа химика-органика на молекулярного биолога, а с 1972 г. в лаборатории Колд Спринг Харбор, где с 1986 по 1992 г. был заместителем директора по науке. С 1992 г. — научный руководитель крупнейшей молекулярно-биологической фирмы «New England Biolabs» в Массачусетсе.

Филлип А. Шарп (Phillip A. Sharp) родился 6 июня 1944 г. в Фалмуте (штат Кентукки, США). В 1966 г. получил степень бакалавра по химии и математике в одном из колледжей Барбуриля (Кентукки), а в 1969 г. — докторскую степень по химии в Иллинойском университете в Урбане. С 1969 г. по 1971 г. работал в Калифорнийском технологическом институте в Лос-Анджелесе, а с 1971 по 1974 г. — в лаборато-



Ф. Шарп.

рии Колд Спринг Харбор. В 1974 г. стал сотрудником Массачусетского технологического института в Кембридже: сначала адъюнкт-профессором в онкологическом центре и на биологическом факультете, а затем полным профессором (1979 г.), заместителем директора (1982—1985 гг.) и директором онкологического центра (1985—1991 гг.) Массачусетского технологического института. С 1991 г. возглавляет биологический факультет этого института.

К концу 60-х годов сложились представления о структуре гена как о непрерывном сегменте двойной нити ДНК, который в определенных условиях копируется (точнее транскрибируется, т. е. переписывается) в виде одонитивной молекулы мРНК, служащей непосредственным источником информации (матрицей) в синтезе белка. Было сформулировано положение о коллинеарности трех основ-

ных последовательных участников в цепи биосинтеза белка: цепи гена и мРНК структурно соответствуют друг другу и — с учетом перевода нуклеотидной последовательности на аминокислотный язык — белку.

Эта простая картина радикально изменилась после 1977 г., когда Ф. Шарп в Массачусетском технологическом институте и Р. Робертс в Колд Спринг Харбор независимо друг от друга показали, что индивидуальный ген может состоять из нескольких кодирующих сегментов (экзонов), разделенных нетранслируемыми фрагментами ДНК (интронами). Эти работы были выполнены на генетическом материале аденовируса, который вызывает обыкновенную простуду. Аденовирус оказался очень удобным модельным объектом для изучения генов высших организмов, поскольку, несмотря на относительно простое строение его генома, включающего единственную молекулу ДНК, некоторые его гены сходны с генами хозяина.

Пытаясь определить, где расположены отдельные гены аденовируса, будущие лауреаты обнаружили, что один конец мРНК ведет себя неожиданно. Объяснить это странное поведение можно было, допустив, что сегмент ДНК, соответствующий этому концу мРНК, не примыкает к остальной части гена. Проверка такого предположения с использованием метода гибридизации и электронной микроскопии показала, что единственная молекула мРНК соответствует по крайней мере четырем отдельным сегментам ДНК. Вывод, к которому пришли

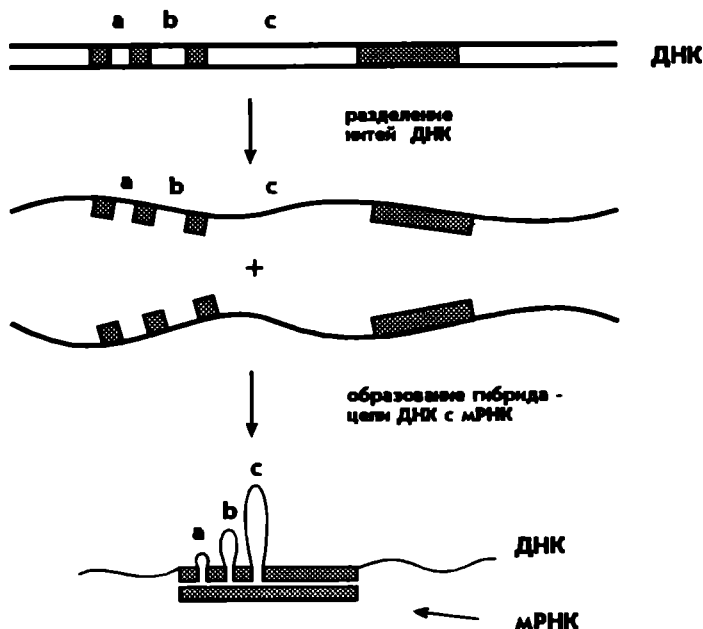


Схема эксперимента, доказывающего, что в ДНК аденовируса присутствуют прерывистые (расщепленные) гены. Генетическая информация, заключенная в мРНК, в составе ДНК находится в четырех сегментах, которые разделены тремя вставками (а, b, с). При гибридизации одной нити ДНК с мРНК эти вставки (интроны), не имеющие соответствия в зрелой мРНК, образуют петли, которые можно прямо наблюдать с помощью электронного микроскопа.

авторы, противоречил принятым взглядам о непрерывности гена — генетическая информация оказалась расположенной в гене мозаично.

Это открытие стимулировало интенсивные поиски такого рода структур генов на других объектах. Очень скоро целым рядом исследователей было показано, что прерывистое строение генов широко распространено в природе, а у высших организмов это явление наблюдалось во всех исследованных к тому времени случаях.

Итак, ген может состоять из нескольких экзонов, разделенных интронами — промежуточной, нетранслируемой ДНК. Признание экзон-интронной структуры радикально изменило представления об эволюции гена только как о про-

цессе накопления мутаций. Открытие Шарпа и Робертса позволило предположить участие в развитии высших организмов еще одного механизма, а именно перегруппировку сегментов гена с образованием новых функциональных единиц. Эта гипотеза оказалась особенно привлекательной после того, как в ряде случаев было обнаружено, что экзоны соответствуют так называемым доменам белка, каждый из которых, возможно, обладает специфической функцией. Это говорит о том, что перегруппировка экзонов может привести к белку с иной функциональной активностью. Подобные процессы могут существенно ускорять эволюцию.

Открытие Шарпа и Робертса позволило модифицировать представление о ходе биосинтеза белка в клетке. Первичным продуктом транскрипции гена является комплементарный ему предшественник мРНК (про-мРНК), включающий экзоны и интроны. Затем интроны вырезаются, фрагменты мРНК соединяются между собой (этот процесс получил название «сплайсинг») и образуется укороченная, зрелая мРНК, кодирующая синтез белка. Важность сплайсинга стала особенно очевидной, когда выяснилось, что для данной про-мРНК он

может протекать более чем одним способом, т. е. что границы экзонов могут варьировать. Оказалось, что в разных тканях и на разных стадиях развития могут синтезироваться разные зрелые мРНК с одного и того же участка ДНК через стадию образования одной и той же про-мРНК (такой процесс назвали альтернативным сплайсингом). Таким образом, один участок ДНК может кодировать несколько белков, что существенно изменило наше представление о механизмах реализации генетической информации.

Работы, отмеченные Нобелевской премией 1993 г., не только во многом определили лицо современной молекулярной биологии, но и оказали большое влияние на медицинские исследования. Хорошо известно, что причина многих наследственных болезней, которых насчитывается более 5 тыс., связана с нарушением синтеза белка. Так, β -талассемия (одна из форм врожденной гемолитической анемии) возникает в результате образования дефектного белка β -глобина, что укорачивает срок жизни эритроцитов. При этом среди множества различных дефектов генетического материала, приводящих к этому заболеванию, были обнаружены мутации, которые вызывают неправильный сплайсинг про-мРНК β -глобинового гена.

Другой пример связи наследственной патологии с экзон-интронным строением гена дает хроническая миелоидная лейкемия. У истоков этого заболевания лежит хромосомная перестройка, вызывающая слияние двух генов, с которых затем считывается общий транскрипт. В ходе его сплайсинга экзоны обоих генов образуют одну молекулу мРНК, которая кодирует новый белок, приводящий к лейкемии.

Сам Шарп рассматривает награду как признание в непрерывности развития науки, определяемой достижениями ученых. Упомянув лавину публикаций о расщепленных генах, последовавшую за сообщениями его и Робертса, Шарп сказал: «Нам просто повезло, что мы оказались в начале этого процесса». Как известно, удача приходит к подготовленным умам.

Астрофизика

Сверхновая трансформируется

Сверхновая 1993J, открытая в конце марта 1993 г., отличалась интенсивной линией излучения водорода, что позволяло отнести ее к II типу подобных звезд. Однако 11 мая астроном А. Филиппенко А. Filippenko; Университет штата Калифорния, Беркли, США) обнаружил, что линии водорода заметно потускнели, а линии гелия стали значительно более ярко выраженными, так что весь объект начал постепенно превращаться в сверхновую типа IV. Ход такого превращения был скрыт от наблюдателей в течение нескольких суток первой половины мая из-за яркого света Луны.

Подобную трансформацию звезд из одного типа в другой однажды уже наблюдал тот же Филиппенко у сверхновой 1987K через несколько суток после ее взрыва.

Вспышка сверхновой происходит, когда ядро звезды коллапсирует, при этом выделяется гигантское количество энергии (около 10^{50} эрг). В этот момент светимость звезды возрастает в миллиарды раз, так что на короткое время (порядка месяца) звезда по яркости становится сравнимой с целой галактикой. Спектры излучения сверхновых типов II и IV различаются из-за разного состава их поверхностного слоя. У II типа — мощный внешний водородный слой, который да-

ет водородную эмиссию. Тип IV этого слоя лишен, поэтому земной наблюдатель видит спектр излучения более глубинного гелиевого слоя.

Анализируя наблюдательные факты, С. Вусли (S. Woosley; Университет штата Калифорния, Санта-Крус) пришел к выводу, что сверхновая 1993J представляет собой «отсутзовавшее звено» между типами II и IV. Он считает, что первоначально взорвавшаяся звезда обладала массой от 10 до 15 M_{\odot} , а вокруг нее обращалась меньшая звезда. По мере старения большой звезды и превращения ее в красного гиганта, все расширявшийся ее внешний водородный слой попал под действие сил тяготения парного небесного тела. В результате с большой звездой была «содрана» газовая масса, равная приблизительно 10 солнечным. К моменту взрыва, полагает ученый, во внешней оболочке этой звезды оставалось водорода не более $1/10 M_{\odot}$, общая же ее масса сократилась всего лишь до 3—4 M_{\odot} ; от звезды осталось практически одно ядро. Парная звезда при взрыве сохранилась и впоследствии; когда разлетевшиеся остатки сверхновой разбегутся еще дальше и станут более разреженными, ее снова можно будет наблюдать.

Гипотеза Вусли, помимо прочего, может объяснить, почему яркость сверхновой достигала максимума дважды: первый пик вызвал разогретый водород, а второй был возбужден распадом радиоактивного никеля и кобальта, образовавшихся при самом взрыве, при-

чем этот процесс можно было наблюдать сквозь слабую водородную оболочку. Эту точку зрения поддерживает известный специалист по сверхновым Р. Киршнер (R. Kirshner; Гарвардский астрофизический центр, Кембридж, штат Массачусетс). *New Scientist*. 1993. V. 138. N 1874. P. 17 (Великобритания).

Астрономия

«Вторжение» в Млечный путь!

Астронавты П. Коут, Д. Уэлч и Ф. Фишер (P. Cote, D. Welch, Ph. Fischer; Макмастерский университет, Гамильтон, Канада) совместно с М. Ирвином (M. Irwin; Королевская Гринвичская обсерватория, Кембридж, Великобритания) наблюдали на одной из обсерваторий Чили объект NGC 3201 в созвездии Паруса, видимом лишь в небе Южного полушария.

В ходе наблюдений этого старого звездного скопления были получены спектры 879 звезд, лежащих в том же направлении, но не входящих в него. Характер спектров показал, что 18 звезд удаляются от нас со скоростью около 75 км/с. Если бы все эти звезды были независимы, вероятность подобного движения не достигла бы и 1%. Очевидно, что все они принадлежат к одной группе, т. е. родились в одном районе Вселенной в одинаковое

время и сейчас движутся по единой орбите вокруг нашей Галактики.

Эти звезды отстоят друг от друга на расстояние в несколько сот световых лет. Их удаленность от нас пока точно не определена, но, очевидно, составляет от 20 тыс. до 40 тыс. св. лет. Все они принадлежат к типу красных гигантов и имеют яркое оранжевое свечение; возможно, однако, что они обладают и более тусклыми спутниками, которые для нас неразличимы.

Сопоставив все данные, П. Коут и его коллеги пришли к заключению, что эти звезды некогда представляли собой единое скопление, которое затем было «разорвано» силами тяготения нашей Галактики. Весьма вероятно также, что эти объекты являются обломками какой-то небольшой галактики, которую наш Млечный Путь недавно «вырвал» из далекого межгалактического пространства, а теперь они практически столкнулись.

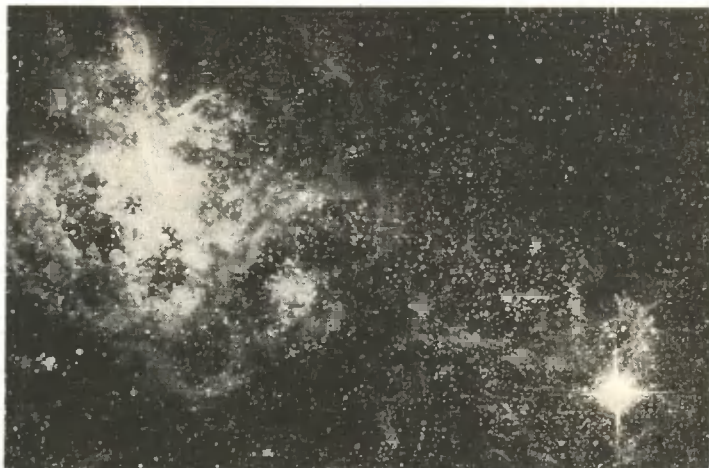
На сегодня ученым известны еще 10 галактик, вращающихся вокруг Млечного Пути, причем в предстоящие миллиарды лет некоторые из них могут постепенно оказаться внутри него.

New Scientist. 1993. V. 137. N 1863. P. 16 (Великобритания).

Астрономия

Загадка R 136 решена!

Уже более десяти лет тревожит сердца астрономов загадочный объект в центре туманности Тарантул, что расположена в соседней с нами галактике Большое Магелланово Облако (БМО). Туманность Тарантул (она действительно напоминает нечто паукообразное) наблюдается на южном небе в созвездии Золотой Рыбы (Dorado). Астрономам прошлого в их слабые телескопы она представлялась звездой и поэтому получила «звездный» порядковый номер — 30Dor. Ее и сейчас так называют в науч-



Туманность Тарантул в Большом Магеллановом Облаке, в центре которой находится объект R 136. Яркая звезда справа от туманности — сверхновая, вспыхнувшая в 1987 г.

ных публикациях, хотя уже лет 100 известно, что это не звезда, а облако горячего газа, ионизованного излучением молодых массивных звезд, сравнительно недавно сформировавшихся из этого же газа.

Туманность Тарантул — это лишь небольшая часть гигантского комплекса облаков межзвездного газа, в котором уже многие миллионы лет активно рождаются звезды. Хотя новорожденные звезды распределены по всему объему Тарантула, в его центре они образуют плотное скопление NGC 2070, содержащее более сотни массивных звезд в каждом кубическом парсеке. Звезд малой массы, подобных нашему Солнцу, там должно быть еще в сотни раз больше, но с расстояния в 50 тыс. пк, на которое удалена от нас галактика БМО, такие звезды не видны. Расчеты показывают, что в центре скопления NGC 2070 плотность звезд достигает многих тысяч на 1 пк^3 . Для сравнения: в окрестности Солнца менее одной звезды в 1 пк^3 .

Самое же интересное образование оказалось в центре звездного скопления в Тарантуле. Сначала астрономы обнару-

жили там яркий объект и назвали его R 136 (очередной номер в каталоге Рэдклифа). Затем, присмотревшись, выяснили, что это не один объект, а кучка из нескольких звезд. Чем лучше были условия наблюдения и применяемый телескоп, тем больше отдельных объектов удавалось рассмотреть в этой кучке. Однако самый яркий из них — R 136a — никак не хотел «делиться на части». И тут астрономы завоновались. Дело в том, что теория внутреннего строения звезд запрещает существование тел с массой более 120—150 солнечных масс: такие звезды неустойчивы и должны быстро разрушаться. А судя по огромной светимости объекта R 136a, в миллионы раз превышающей солнечную, его масса оценивалась в 2000 M_{\odot} !

Большие силы были брошены на исследование этого объекта; к нему применяли новейшую астрономическую технику, способную сквозь неоднородную атмосферу Земли рассмотреть тонкую структуру загадочного R 136a. Но лишь после запуска Космического телескопа им. Хаббла эту проблему удалось решить. Получив великолепные изображения в ультрафиолетовом диапазоне¹,

¹ De Marchi G., Nota A., Leitherer C., Ragazzoni R., Barbieri C. The population of massive stars in R136 from FOC ultraviolet observations // Preprint of Space Telescope Science Institute. 1993. N 762.

астрономы увидели, что R 136a— это плотная кучка по крайней мере из 12 звезд, каждая из которых теперь получила свое наименование: R 135a1, R 136a2 и т. д. Самое же важное, что масса каждой не превышает $150 M_{\odot}$.

Да здравствует теория внутреннего строения звезд! (в справедливости которой уже начали было возникать сомнения). Судя по всему, объект R 136a являются плотным ядром скопления NGC 2070. Это совсем юное скопление — ему около 3 млн. лет. Именно поэтому его массивные звезды, век которых обычно недолог, еще не успели проэволюционировать и исчезнуть. Масса главного члена этого скопления — звезды R 136a1 — оценивается в $120 \pm 40 M_{\odot}$. Это претендент в чемпионы среди самых массивных звезд, а от чемпионов всегда ждут сенсаций.

© В. Г. Сурдин,
кандидат физико-
математических наук
Москва

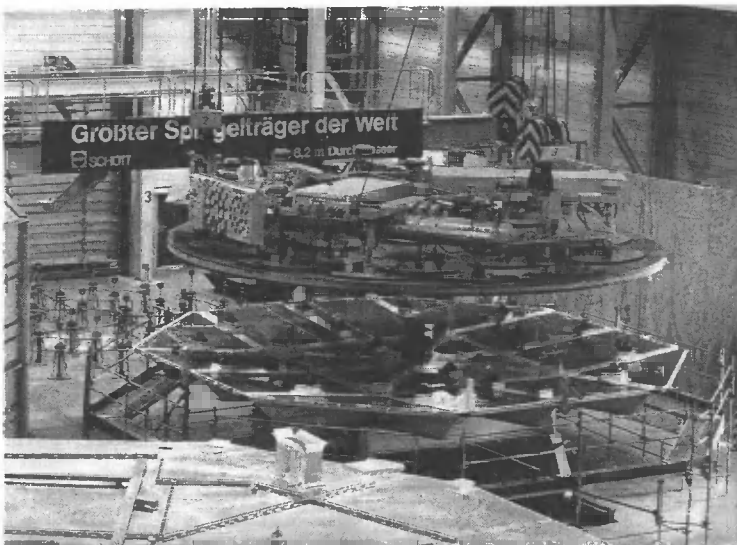
Астрономия. Техника

Заготовка для гигантского зеркала телескопа

25 июня 1993 г. фирма «Schott Glaswerke» (Майнц, Германия) официально передала Европейской южной обсерватории (ESO) заготовку для самого большого из когда-либо созданных зеркал: при весе 22 т и диаметре 8,2 м она имеет толщину 17,7 см.

Это первая из четырех таких заготовок, которые будут использованы в 8,2-метровом зеркале VLT (Very Large Telescope) ESO. Имея общую площадь свыше 200 м^2 , VLT ESO станет самым крупным оптическим телескопом в мире, когда к 2000 г. завершится его сооружение на горе Паранал в чилийской пустыне Атакама.

Отношение диаметра к толщине заготовки (~ 46) намного больше, чем для классического телескопа (~ 6). Это делает ее очень гибкой, благодаря



Момент установки гигантской заготовки зеркала на транспортную платформу.

чему осуществляется компьютерный контроль формы зеркала с помощью активной поддерживающей системы, подобной той, которая была с успехом использована в 3,5-метровом Новом технологическом телескопе Европейской южной обсерватории (NTT ESO).

Инженеры ESO подтвердили превосходное качество этой заготовки, сделанной из керамического материала zerodur с нулевым коэффициентом расширения. Ее успешное производство можно считать выдающимся технологическим достижением.

Сам процесс продолжался 23 мес. Он начался с расплавления 45 т стекла при температуре 1600°C . Эта масса заливалась во вращающуюся форму диаметром 8,6 м, и там поверхность стекла принимала форму параболюда, что примерно требуется в будущем астрономическом зеркале. Охлаждение до комнатной температуры длилось около 4 мес, после чего последовала грубая шлифовка, которая устранила большую часть избыточного материала. Затем заготовка нагревалась до 700°C и выдерживалась при

этой температуре в течение 8 мес. Таким образом стекло и превратилось в очень стабильную керамику, а заготовка дала усадку до требуемого диаметра 8,2 м. Полученная керамика почти совершенно нечувствительна к колебаниям температуры, что идеально для астрономических зеркал (например, при изменении температуры на 10°C диаметр 8,2 м изменится на 4 мкм). Наконец, после охлаждения в заготовке было просверлено центральное отверстие.

Теперь переданная фирмой заготовка будет перевезена на речном транспорте на оптический завод вблизи Парижа, где ее поверхности в течение двухлетнего процесса полировки будет придана окончательная, исключительно точная форма.

Три следующих зеркала для VLT предполагается изготовить в 1994—1995 г.

ESO Press Release. 1993. 29 June.

Астрономия

Парные астероиды — не редкость

Астроном С. Остро (S. Ostro; Лаборатория реактивного движения, Пасадена, штат Калифорния, США) три года назад

Астрономия

установил, что астероид 4769 Касталия на самом деле представляет собой не одно, а два соприкасающихся тела. В начале декабря 1992 г. он же обнаружил, что подобное строение имеет и другой проходящий вблизи Земли астероид, а именно 4179 Тутатис. Существенно, что разделение в ходе последних наблюдений было в 100 раз больше, чем в первом случае. Это позволило по окончании обработки данных судить об объектах на поверхности небесного тела диаметром менее 100 м.

В момент открытия астероид Тутатис находился в 4 млн. км от Земли. Были различимы два кратера неправильной формы с диаметрами 2,5 и 4 км. Составляющие объект тела совместно вращались, делая один оборот за 10—11 сут.

Кратеры на астероиде Тутатис свидетельствуют, что он пережил немало столкновений. Это соответствует гипотезе, согласно которой тела, образующие пояс астероидов между Марсом и Юпитером, часто сталкиваются и разрушаются, а из их осколков «слипаются» новые объекты.

Астроном-теоретик С. Вайденшиллинг (S. Weidenschilling; Институт планетарных наук, Тусон, штат Аризона, США) рассматривает модель двойных астероидов, в которой подобный объект может сформироваться, когда при столкновении более крупное тело распадается, но два его обломка полностью не расходятся из-за силы тяготения, однако такое событие должно быть чрезвычайной редкостью. Это противоречит мнению Остро, считающего, что не менее 10 % всех приближающихся к Земле астероидов являются «контактными двойными» телами.

Наблюдения астероида Гаспра, проведенные с борта космического аппарата «Галилео», показали, что он представляет собой цельный объект. Вайденшиллинг полагает, что продолговатая форма Гаспры возникла при столкновении двух ранее независимых объектов; их соединение относительно непрочное, и «устранение» оболочки вскрыло бы, что в действительности это еще один «парный контактный» астероид.

New Scientist. 1993. V. 137. N 1857. P. 15 (Великобритания).

Космический телескоп нуждается в ремонте

Уже вскоре после запуска в 1990 г. на околоземную орбиту Космического телескопа им. Хаббла было обнаружено, что при его сооружении допущена ошибка, в результате которой 2,4-метровое зеркало дает несколько расплывчатое изображение.

Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США (НАСА) запланировало ремонтные работы на период очередного полета «Шаттла», намеченного на декабрь 1993 г. По разработанной программе астронавтам во время 11-суточного полета предстоит зацепить космический телескоп с помощью механической руки, а затем, попарно выходя в космос на 6 ч каждый раз, выполнить ряд сложных операций: установить оптическую систему «COSTAR», которая компенсирует искажения, вносимые зеркалом; заменить широкоугольную планетарную камеру более совершенной моделью; сменить солнечные панели, которые вызывают вибрацию всего аппарата.

Если астронавтам не удастся выполнить эти задания, руководство проекта «Хаббл», возглавляемое К. Ледбеттером (K. Ledbetter), обратится к НАСА с просьбой провести через полгода-год повторный запуск «Шаттла» с аналогичной целью. Первая такая попытка обойдется в 630 млн. долл., вторая, если она понадобится, — еще в 377 млн. долл.

New Scientist. 1993. V. 138. N 1879. P. 6 (Великобритания).

Планетология

На «дынной» поверхности Тритона

В 1989 г. космический аппарат «Вояджер-2» прошел вблизи Тритона¹, и на Землю по-

ступили первые детальные снимки необычной поверхности этого крупного спутника планеты Нептун. Необычность состоит в изобилии крупных «рябинок», напоминающих кожуру дыни-кantalупы (отсюда название «кantalупный ландшафт»); возможно, ими покрыто до трети всей поверхности Тритона. Вокруг центральной резко пересеченной части углублений, имеющих овальную форму и в среднем 30 км в поперечнике, кольцом лежит сравнительно выровненная местность, а сами углубления отстоят друг от друга примерно на 50 км.

Анализ космических снимков, завершённый ныне П. Шенком (P. Schenk; Институт лунных и планетарных наук, Хьюстон, штат Техас, США) и М. Джексоном (M. Jackson; Университет штата Техас, Остин), позволил им высказать гипотезу о причинах образования и истории развития столь характерного рельефа.

Авторы впервые отметили сходство таких структур на поверхности Тритона с земными диапирами — куполами, образованными пластичными породами, например известняками. Так как плотность ее (2,15 г/см³) значительно ниже, чем у большинства пород, соляные диапиры выдавливаются из зон с большим давлением в зоны с меньшим давлением и, поднимаясь из недр, порой «протыкают» лежащие выше осадочные породы. Слой пород, которые перекрывают поднимающийся соляной столб, образует по периферии диапира кольцевую в плане складку. На Земле соляные диапиры известны на территории Ирана, у берегов Мексиканского залива, в Средиземноморском регионе, в северо-западной Европе. По определенным признакам судят, с какой глубиной поднимались диапиры к поверхности. Если используемую методику применить к Тритону, можно утверждать, что там они выдавливались с 20-метровой глубины.

Тело Тритона примерно на 70 % сложено горными породами, а его поверхностные слои в значительной мере состоят, очевидно, из различных по происхождению льдов — замерзших воды, гидрированного ам-

¹ См.: «Вояджер-2» у Нептуна // Природа. 1990. № 2. С. 104.

миака и диоксида углерода. По мнению авторов, для того чтобы ледяные дидапирсы смогли образовать «дынный» ландшафт, необходимо, чтобы под плотной поверхностью Тритона залегали слои менее плотных льдов. Авторы гипотезы полагают, что диоксид углерода, покинув поверхность Тритона, затем конденсировался в качестве более плотного слоя поверх льда водного происхождения. В противном случае смесь аммиака с водой (тоже более плотная, нежели предполагаемые наружные слои) затопила бы поверхность Тритона, подобно лаве. Известно, что на этом спутнике и ныне происходят извержения «ледяной лавы».

У. Мак-Киннон (W. McKinon; Университет им. Вашингтона, Сент-Луис, штат Миссури, США) считает новую гипотезу о странной коре Тритона, состоящей из разных по происхождению льдов, вполне правдоподобной. Однако он указывает, что возраст тритоновых дидапиров не превышает 1 млрд. лет, и потому неясно, порожжены ли они внутренним разогревом глубинных слоев или же различиями в химическом составе льдов. *Geology*. 1993. V. 21. N 4. P. 299 (США).

Планетология

Светоиндуцированная диффузия и ее астрофизические следствия

Необычное распределение изотопов водорода D и H на планетах Солнечной системы — одна из нерешенных проблем. Большая часть экспериментальных данных показывает, что на Венере отношение концентраций $[D]/[H] \sim 0,016$; на других планетах оно уменьшается по мере увеличения расстояния от Солнца, приближаясь к космическому значению $\sim 1,5 \cdot 10^{-5}$ на крайних планетах Солнечной системы.

В 1988 г. С. Н. Атутов и А. М. Шалагин предложили объяснение этой аномалии $[D]/[H]$, используя эффект

светоиндуцированной диффузии газов¹. Сущность этого явления, впервые описанного Ф. Х. Гельмухановым и А. М. Шалагиным в 1979 г., состоит в следующем². Пусть частота излучения ω отличается от частоты ω_{mn} атомного перехода $m \rightarrow n$ частицы, находящейся в буферном газе, причем так, что вследствие эффекта Доплера поглощать будут только частицы, движущиеся к источнику излучения. Частицы, движущиеся от него, находятся в основном состоянии и имеют меньшее сечение взаимодействия и, соответственно, большую длину свободного пробега. Внешне этот эффект проявляется в том, что световая волна создаст макроскопический поток поглощающих частиц.

В модели Атутова — Шалагина молекулы H_2O в сжимающейся протозвезде являются источниками ИК-излучения, которое поглощается молекулами H_2O в холодном протопланетном облаке, состоящем главным образом из H_2 и He. Тогда молекулы H_2O благодаря светоиндуцированной диффузии будут выталкиваться из центра Солнечной системы, при условии уменьшения длины свободного пробега молекул H_2O в возбужденном состоянии. Так как $[D]/[H]$ в протозвезде $\sim 2 \cdot 10^{-5}$, то намного более слабое излучение HDO будет малоэффективным в пространственном перераспределении молекул, содержащих D. Таким образом, отношение $[D]/[H]$ увеличивается на ближайших к звезде планетах.

Центральным моментом предположенной модели является соотношение между длинами свободного пробега молекулы H_2O в возбужденном и основном состояниях в буферном газе. Этот вопрос тщательно исследовала группа ученых Лейденского университета (Голландия). Для этого была выбрана колебательная мода молекулы

H_2O с наибольшим дипольным моментом. Эксперименты показали, что длина свободного пробега уменьшается при оптическом возбуждении. Оценки, проведенные в работе голландских ученых, показали, что давление света оказывает примерно в 100 раз меньшее воздействие на перераспределение D и H, чем светоиндуцированная диффузия. Именно этот более эффективный механизм, по мнению авторов, и определяет наблюдаемое значение $[D]/[H]$ в Солнечной системе.

Physical Review Letters. 1993. V. 70. P. 742 (США).

Химия атмосферы

Вулканический хлор не виноват

Работы Р. Терко и А. Табазада (R. Turco, A. Tabazadah; Университет штата Калифорния, Лос-Анджелес, США) опровергают мнение ряда ученых, которые полагают, что по крайней мере часть ответственности за истощение озоносферы может быть отнесена на счет естественных процессов, и в первую очередь извержений вулканов, при которых выбрасывается большое количество хлористого водорода.

Исследователям из Лос-Анджелеса удалось показать, что, хотя в ходе некоторых извержений в атмосферу действительно поступают значительные объемы хлористого водорода, однако он весьма интенсивно вымывается дождями, которые сопровождают подобного рода вулканическую активность. Изученные авторами осадки насыщены вулканическими частицами, вынесенными именно таким образом из воздушного пространства.

С другой стороны, столь мощные процессы, как извержение вулкана Пинатубо на Филиппинских о-вах в 1992 г., могут способствовать разрушению стратосферного озона, поскольку поставляют в окружающую среду большое количество аз-

¹ Атутов С. Н., Шалагин А. М. // Письма в «Астрон. журн.». 1988. Т. 14. С. 664.

² Гельмуханов Ф. Х., Шалагин А. М. // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 29. С. 773.

розольных частиц. Химические реакции, приводящие к разрушению молекул озона, происходят обычно на поверхности аэрозольных частиц, действующих в роли катализатора. Однако такие реакции вряд ли стали бы возможны, если бы в стратосфере отсутствовали соединения хлора антропогенного происхождения.

Science. 1993. V. 260. N. 5111. P. 1082 (США).

Физика

Измерение силы Казимира — Полдера

Физики давно обнаружили и объяснили взаимодействие электромагнитного вакуума и заряженных частиц. Первым экспериментальным доказательством этого было открытие лэмбовского сдвига электронных уровней атома водорода. При движении электрона в атоме он взаимодействует не только с атомным ядром, но также и нулевыми колебаниями электромагнитного поля, т. е. с электромагнитным вакуумом, поскольку даже в отсутствие реальных фотонов флуктуации электромагнитного поля отличны от нуля. Именно это и приводит к сдвигу уровней.

Из-за граничных условий вблизи проводящей пластины пространственное распределение, поляризация и спектральная плотность электромагнитного поля вакуума существенно отличаются от поля свободного пространства. Градиент меняющегося в пространстве лэмбовского сдвига соответствует дальнедействующей силе притяжения. Вопрос о взаимодействии нейтрального атома и плоской проводящей пластины еще в 1948 г. рассмотрели Х. Казимир и Д. Полдер, и только сейчас группа американских физиков из Йельского университета экспериментально подтвердила существование этой силы.

В этом опыте пучок атомов Na в основном состоянии пропущен через клиновидную полость длиной 8 мм и зазором от 0,5 до 8 мкм, состоящую из золотых пластин.

Внутри полости атомы из-за взаимодействия с пластинами отклонялись и, попадая на них, с большой вероятностью оставались на стенках полости. В эксперименте регистрировалось количество прошедших атомов Na от ширины зазора. Измеренная функция пропускания сравнивалась с теоретическими, вычисленными для различных типов взаимодействия атом—пластина.

Оказалось, что при зазорах больше 3 мкм эти силы слишком слабы, чтобы существенно отклонить пучок атомов при длине полости 8 мм. При зазорах меньше 1 мкм количество прошедших атомов уже невелико, и сравнение экспериментальных данных и теоретических показывает, что наилучшее согласие между ними наблюдается, когда сила взаимодействия между атомами Na и стенками полости описывается потенциалом Казимира—Полдера.

Physical Review Letters. 1993. V. 70. P. 560 (США).

Физика

Фотолюминесценция кремния в видимом диапазоне

В настоящее время основным материалом в микроэлектронной промышленности служит кремний. Но в производстве полупроводниковых излучателей его применение ограничено, так как он относится к непрямозонным полупроводникам, которые слабо излучают свет.

Как известно, одним из основных процессов излучательной рекомбинации в полупроводниках являются межзонные оптические переходы, которые определяются энергетическим спектром. Если абсолютный минимум зоны проводимости и абсолютный максимум валентной зоны расположены в одной точке импульсного пространства, то излучательные переходы могут происходить без изменения квазиимпульса — это прямые пере-

ходы. Если положения абсолютных экстремумов не совпадают, то при излучательном переходе должно происходить изменение квазиимпульса электрона. Это означает, что избыточный квазиимпульс должен передаваться примесному атому или фонону. Такие переходы называются непрямыми, а полупроводники, в которых они имеют место, — непрямозонными. Поскольку для прямого перехода необходимо взаимодействие трех частиц, то его вероятность мала.

В связи с этим недавнее открытие фотолюминесценции пористого кремния¹ (ПК), возбуждаемой лазерным облучением, вызвало большой интерес ученых. Несколько групп российских исследователей также ведут теоретическое и экспериментальное изучение этого явления².

Слои ПК формируются методом анодного травления в спиртовом растворе плавиковой кислоты при плотности тока 10—60 мА/см² в течение 5—60 мин. В качестве подложек используются полированные кремниевые пластины p- и n-типа с ориентацией [100] и [111] и разной степенью легирования. При этом получают слои толщиной от 1 до 50 мкм. Их изучение с помощью сканирующей туннельной и электронной растровой микроскопии, оже- и фотоэлектронной спектроскопии показало, что поверхность слоя ПК имеет фрактальный характер. На поверхности различается рельеф с высотой до 100—130 Å и шириной пиков на полувысоте 20—30 Å. Морфологию пор наблюдали на скеле образца. Рост пор происходит в направлении протекания тока перпендикулярно поверх-

¹ Canham L. T. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 57. P. 1046.

² Averkiev N. S. et al. // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т. 55. С. 631; Копаев Ю. В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т. 55. С. 696; Андрианов А. В. и др. // Там же. 1992. Т. 56. С. 242; Караванский В. А. и др. // Там же. 1993. Т. 57. С. 229; Днепрова В. С. и др. // Там же. 1993. Т. 57. С. 394; Колмакова Т. П. и др. // Там же. 1993. Т. 57. С. 398.

ности, их размеры имеют значительные флуктуации. Размеры образующихся «квантовых проволок» — от 30 до 100 А. Полученные образцы ПК представляют собой неоднородную систему, состоящую из кристаллического ПК вблизи подложки, который переходит в оксид с фрагментами неокисленного кремния у поверхности. Спектры комбинационного рассеяния свидетельствуют об отсутствии заметной аморфизации образцов.

Спектр фотолюминесценции ПК, наблюдаемой при возбуждении непрерывным аргоновым или импульсным азотным лазерами лежит в диапазоне 1,4—2,0 эВ (0,88—0,61 мкм). Видно, что энергия фотонов заметно превышает величину прямой запрещенной зоны (1,1 эВ) и в то же время существенно меньше прямой щели в центре зоны Бриллюэна (3,4 эВ).

Было показано теоретически, что в ПК за счет эффекта размерного квантового спектр становится прямозонным, а ширина запрещенной зоны увеличивается (сдвигается вниз по энергии валентная зона), что и обуславливает люминесценцию в видимой области. При этом диаметр «квантовой проволоки» ПК не должен превышать 30 А, что по порядку совпадает с величинами, измеренными методом сканирующей туннельной микроскопии.

Спектры фотолюминесценции, снятые при 4,2 К, состоят из ряда линий, разделенных интервалом ~50 мэВ. Оценки, с учетом этой величины, в модели размерного квантования дают значение среднего диаметра «квантовой проволоки» ПК также ~30 А. Эта тонкая структура видна еще при 77 К и исчезает при комнатной температуре.

Интересные результаты были получены при исследовании временной эволюции фотолюминесценции ПК. Обнаружена короткоживущая зеленая полоса излучения с максимумом в области 0,5 мкм, которая не наблюдается при задержках >100 нс между возбуждающим импульсом и началом регистрации фотолюминесценции.

В спектре дифференциального пропускания образца, возбужденного ультракороткими импульсами II гормоники Nd:YAG лазера, наблюдались две узкие полосы просветления (увеличения коэффициента пропускания).

Полученные результаты позволяют рассуждать на возможность создания на базе ПК не только эффективных излучателей, но и совместимых с ними скоростных нелинейно-оптических переключателей.

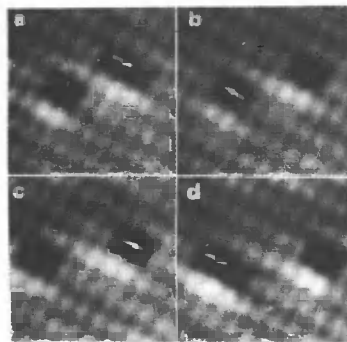
© А. Н. Грицук
Москва

Физика

Микроскопическое наблюдение поверхности миграции вакансий

Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), обладая способностью разрешать отдельные атомы на большой площади, — идеальный метод для исследования миграции атомов и дефектов на поверхности твердого тела. Причем наблюдения можно проводить как на фиксированном распределении дефектов, изменяемом, например, с помощью отжига, так и непосредственно прослеживая их движение через промежутки времени, необходимые для получения СТМ-изображения. При этом известно, что сам процесс сканирования способен оказать воздействие на это движение, так как игла микроскопа может переносить атомы исследуемого образца.

Группа немецких физиков зарегистрировала и провела количественный анализ индуцированного иглой движения вакансий на поверхности [110] кристалла n-GaP. Исследовалась поверхность скола фосфида галлия, полученная в сверхвысоком вакууме $\sim 10^{-10}$ мм рт. ст., на которой присутствовали дивакансии (два пропущенных атома фосфора). При сканировании на туннельном микроскопе наблюдалось их движение при комнатной температуре, когда туннельное напряжение было



Миграция дивакансий фосфора. Направление сканирования — из верхнего левого угла в нижний правый. Стрелки показывают направление движения дефекта. Раздвижение дефекта на снимках от а до d (пустые позиции в кристаллической решетке) означает, что прыжок атома произошел между последовательными прохождением иглы микроскопа над дефектом. Масштаб 70×70 А.

отрицательным в диапазоне от —2,68 до —3,8 В. Это движение происходило почти исключительно в направлении [110], и только около 1% атомных прыжков имело компоненту в направлении [001]. При отсутствии напряжения и при положительных его значениях никакого движения дивакансий не было. Как оказалось, их миграция происходит аналогично движению одиночных дефектов. Для того чтобы дивакансия передвинулась на одну постоянную решетку, атом фосфора должен прыгнуть в противоположном направлении дважды. Если вероятность первого прыжка больше вероятности второго, то дивакансия должна была бы диссоциировать на две вакансии. Однако этого не наблюдали, значит, вероятность первого прыжка определяет весь процесс, а вероятность второго должна быть равна единице.

Для количественного анализа было получено 250 последовательных изображений площади 150×150 А, каждое из которых было снято за 8 с. Каждый снимок содержал от 4 до 10 дивакансий. Увеличение микроскопа было таким, что изображения дефектов находились на 9 линиях сканирования (весь снимок на 155 линиях), причём

довольно часто они получались размытыми, так как прыжок атома происходил между двумя последовательными проходами иглы микроскопа над дефектом. Зависимость миграции от знака туннельного напряжения и ее корреляция с положением иглы означает, что прыжки атомов индуцируются иглой. При температуре измерений тепловое движение почти неразличимо, что подтверждается снимками, сделанными через большой промежуток времени, на которых нет изменений в положении дефектов.

Количественный анализ полученных снимков показал, что направление движения дивакансий вдоль [110] не зависит от направления движения иглы, причем существует корреляция между последовательными прыжками. Это позволило предположить, что дивакансии могут находиться в двух состояниях: основном и возбужденном, в котором вероятность прыжка выше.

Таким образом, когда игла микроскопа проходит над дефектом, он переходит в возбужденное состояние. Эта дополнительная энергия может позволить ему преодолеть потенциальный барьер, удерживающий его в узле кристаллической решетки. То, что вероятность повторного прыжка выше, если дивакансия перед этим двигалась, означает существование долгоживущих состояний, индуцированных иглой.

Эти явления играют важную роль в СТМ-экспериментах, касающихся процессов поверхностной динамики. Для разделения вкладов тепловой и индуцированной миграции дефектов планируется проведение экспериментов при высоких температурах.

Physical Review Letters. 1993. V. 70. P. 1437 (США).

Энергетика

Мировой рекорд энергетики Литвы

Литва побилла мировой рекорд по доле электрической энергии, произведенной на

атомных электростанциях (АЭС). За первые шесть месяцев 1993 г. в Литве эта доля перевалила за 80 %, и Франция с ее 78,6 % оказалась на втором месте, уступив тем не менее наивысшее национальное достижение по этому показателю за все годы.

На единственной литовской АЭС в Игналине эксплуатируются два реактора РБМК-1500, надежность которых подвергается сомнению после Чернобыльской катастрофы. Доля атомной электроэнергии в Литве растет, главным образом, за счет сокращения потребления газа, нефти и угля, импорт которых из России резко подорожал.

Nuclear Europe Worldscan. 1993. N 9/10. P. 25 (Швейцария).

Социология

Аномалия опросов сексуального поведения

При анализе опросов сексуального поведения замечалась аномалия: суммарное число партнеров-женщин, указываемое мужчинами, обычно больше

числа партнеров-мужчин, о которых сообщают женщины. Это расхождение зачастую интерпретируется как показатель того, что данные опросов ненадежны вследствие сексуально ориентированных искажений и неадекватной выборки. Однако М. Моррис (М. Morris; Кембриджский университет, Великобритания) показал, что среди 90 % респондентов от общего числа 3536, сообщивших о менее чем 20 партнерах за всю жизнь, отношение суммарных чисел партнеров другого пола падает с 3,2:1 до 1,2:1.

Наиболее достоверно выглядит начальная часть контактного распределения, представленная в табл. 1.

Все опрошенные респонденты были разделены по результатам опросов на две группы: с числом партнеров более 20 в течение жизни и менее 20. При этом отношение суммарного числа гетеросексуальных связей для 90 % респондентов оказалось достаточно близким к единице, что иллюстрируется данными табл. 2.

Таким образом, описанная аномалия вызвана, главным образом, менее достоверной частью распределения по сексуальным контактам для респондентов, указавших более 20

Таблица 1

Число партнеров	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Респонденты (%)									
мужчины	4,0	7,9	3,9	3,3	3,2	2,8	2,2	0,3	0,5	0,2
женщины	5,0	22,5	8,0	5,8	3,6	3,5	1,9	0,4	0,4	0,2

Таблица 2

Партнеры	Все (3536 чел.)		До 20 (3155 чел.)		20 и более (381)	
	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины
Респонденты						
мужчины	1582	20523	192	5852	1390	14671
женщины	6371	241	4921	158	1450	83
Отношение	3,22		1,19		10,12	

партнеров в течение жизни. Отмечается также, что указанная аномалия может объясняться вкладом коммерческого секса (commercial sex workers — CSW) в распределение контактов при больших числах партнеров. Вклад, вносимый CSW, оценен автором в 0,5—1 % популяции при числе партнеров 1000—2000 в течение жизни, что заметно превосходит предыдущие оценки.

Из этого следует вывод, что данные опросов сексуального поведения достоверны в своей средней части, а некоторые улучшения процедуры опросов могут повысить достоверность и контактных распределений для больших чисел партнеров. Повышение надежности статистики даст возможность использовать эти данные для моделирования распространения СПИДа и других сексуально передающихся заболеваний.

Nature. 1993. V. 365. N 6445. P. 437 (Великобритания).

Медицина

Пересадка печени обезьяны человеку

В январе 1992 г. хирурги больницы при Питтсбургском университете (штат Огайо, США) провели необычную операцию, пересадив 62-летнему пациенту, страдающему гепатитом В, печень бабуина. От пересадки этому больному печени другого человека врачи отказались из-за недостатка донорских органов, а также вероятности перезаражения вирусом гепатита В. Считается, что печень обезьяны этому вирусу «неподвластна».

Это не единственная попытка ксенотрансплантации (т. е., пересадки органа, принадлежащего иному виду): в июне 1992 г. те же специалисты пересадили 35-летнему мужчине, инфицированному вирусом гепатита В и ВИЧ, печень бабуина. Однако тот пациент прожил после операции лишь три месяца.

До настоящего времени зарегистрировано еще девять

случаев пересадки человеку почки или печени бабуина. Еще 10—20 лет назад подобные операции считались немыслимыми из-за неумения подавлять отторжение чуждого органа иммунной системой реципиента. Теперь эта трудность в известной мере преодолена. Так как в развитых странах получить донорский орган человека становится все трудней, ксенотрансплантации предстоит большое будущее, считают авторы.

Однако существуют и опасения, связанные с тем, что пересаженный от животного орган сохраняет все свойственные ему вирусы. Часть вирусов, принадлежащих бабуинам, уже достаточно изучена, но от многих можно ждать неприятных сюрпризов. Как известно, сейчас распространено мнение, что ВИЧ или его «предшественник» могли попасть в организм людей от обезьян, инфицированных сходными вирусами. В связи с этим большинство вирусологов, опасаясь неизвестного, предпочитают воздерживаться от участия в подобных операциях. Хирурги же не разделяют этих опасений.

New Scientist. 1993. V. 137. N 1858. P. 3 (Великобритания).

Медицина

Эпидемия лейшманиоза в южном Судане

Первые признаки эпидемии лейшманиоза в этой стране были отмечены еще в середине 1988 г., хотя поначалу ее приняли за эпидемию тифа. Лейшманиоз, тяжелое инфекционное заболевание, вызываемое лейшманиями (*Leishmania donovani*, род простейших класса жгутиковых), которые проникают в организм человека при укусе москитов, был установлен позднее и паразит сразу тысячи людей в западной части верховьев Нила, где ведутся военные действия между правительственными войсками и повстанцами народной армии Судана, и в столице — Хартуме. Война препятствует про-

ведению мероприятий для сдерживания распространения лейшманиоза. В мирное время болезнь поражает лишь незначительную часть населения. Опустошения, голод и перемещения населения, вызванные войной, создают благоприятные условия для распространения эпидемии.

В настоящее время, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), примерно 300—400 тыс. жителей южного Судана могут заболеть лейшманиозом, а по сообщениям неправительственной организации «Медицина без границ» (Нидерланды), около 40 тыс. человек уже умерли, в результате чего население некоторых деревень сократилось на 30—40 %. При этом эксперты ВОЗ считают, что клинические случаи отражают лишь «верхушку айсберга», в реальности же инфицировано гораздо больше людей. При определенных условиях, например при недостатке питания, у зараженных развиваются тяжелые формы заболевания. Наиболее опасен висцеральный лейшманиоз, при котором поражаются внутренние органы. Заболевание сопровождается лихорадкой, увеличением лимфатических узлов, селезенки, печени, анемией и тяжелым истощением. Если больной вовремя не получит лечения, которое основано на ежедневных инъекциях пентавалентной сурьмы (20 мг Sb^{5+} на 1 кг веса в день в течение 30 дней), то он умирает. Стоимость лечения одного больного составляет около 100 долл. США.

После обнаружения эпидемии лейшманиоза в Хартуме был сразу же создан специальный центр для лечения этой болезни. Позднее были открыты еще несколько таких центров, однако из-за нехватки медикаментов тысячи людей в настоящее время остаются без лечения.

Другой страной, подверженной широкому распространению висцерального лейшманиоза, стала Индия. Ежегодно там регистрируют около 400 тыс. новых случаев заболевания. При этом смертность достигает 5—7 %.

World Health Organization. 1993. N 6 (Швейцария).

Желтая лихорадка в Кении

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) сообщила о вспышке желтой лихорадки в одной из провинций Кении. Это смертельно опасное заболевание вызывается вирусом, который попадает в организм человека с укусом комара. Инкубационный период заболевания длится от трех до шести дней. Первые симптомы болезни — лихорадка, головная и мышечная боль, ломота в спине, тошнота и рвота. В тяжелых случаях могут развиться кровотечения и поражения печени. Несмотря на свое название, болезнь не всегда сопровождается желтухой.

Впервые о желтой лихорадке заговорили в XIX в., когда тысячи рабочих, приехавших в Панаму на строительство канала, погибли от этого заболевания. В нашем столетии самая крупная эпидемия бушевала в 1940 г. в Судане. Тогда 15 641 чел. заболели и 230 тыс. умерли. В начале 40-х годов была проведена программа массовой иммунизации населения франкоязычных стран Западной и Экваториальной Африки. В течение четырех лет были привиты 25 тыс. чел. еще 200 млн. получили прививки после 1945 г. Однако начиная с 60-х годов массовая вакцинация практически прекратилась, в результате чего в 14 из 33 стран Африки в любой момент может вспыхнуть эпидемия желтой лихорадки. Только за три года (1988—1990) было зарегистрировано 8685 случаев этого заболевания, из них 2643 — с летальным исходом. Эксперты ВОЗ считают, что эти данные сильно занижены и желтая лихорадка ежегодно поражает около 200 тыс. чел., а 20 тыс. погибают. Поэтому ВОЗ рекомендует включить вакцинацию против желтой лихорадки в программу обязательных прививок детей, которую можно делать в те же сроки, что и противокоревую.

World Health Organization. Press Release. 1993. N 11 (Швейцария).

Маленькие хитрости гусениц

Известно, что личинки бабочки-огневки живут в свернутых листьях. Раньше это объясняли необходимостью защиты от врагов и непогоды. Американский энтомолог С. Сейджерс (S. Sagers; Университет штата Юта, Солт-Лейк-Сити, США), наблюдавшая за огневкой вида *Pyralidae desmia*, обитающей в лесах Барро-Колорадо (Панама) и питающейся листьями кустарника психотрии (*Psychotria horizontalis*, сем. мареновых), считает иначе.

Исследовательница обратила внимание на то, что гусеница сворачивает лист вокруг еще не распустившейся почки, из которой впоследствии развивается лист. Предположив, что отсутствие света вызывает какие-то искажения физиологических процессов созревания растительных тканей, Сейджерс скатала лист по примеру гусеницы, дождалась образования молодого листа и проанализировала его состав.

Оказалось, что содержание воды и азота в этих листьях по сравнению с обычными не изменилось, а содержание токсичного для гусениц многоатомного фенольного соединения — танина — намного меньше. Очевидно, в затемненных условиях синтез танина затормаживается.

Затем 11 личинкам «предложили попробовать» листья, выращенные внутри трубочек и развивавшиеся обычным образом. Девять гусениц предпочли первый вариант, а две — отказались от угощения.

Functional Ecology. 1993. V. 6. P. 741 (США).

Охрана природы

Операция «радиофицированный носорог»

Численность черных носорогов в Африке продолжает сокращаться. На территории

Зимбабве, считавшейся крупнейшим ареалом этих животных, их сейчас осталось не более 350, причем половина из них — в заповедниках. С 1984 г., когда правительство этой страны разрешилось стрелять по браконьерам, несмотря на это, погибло 1170 носорогов.

Ныне Управление национальных парков Зимбабве приступает к операции «Radio Rhino» («Радиофицированный носорог»), которая, как надеются, позволит эффективно бороться с браконьерством. Под кожу каждого животного будет введен датчик, заключенный в капсулу, покрытую слоем инертного пчелиного воска, чтобы кожа не отторгала посторонний предмет.

На центральной наблюдательной станции устанавливается компьютер, который время от времени дает приказ местной радиостанции издать сигнал, дистанционно включающий датчик на шее животного. Тот излучает краткий и мощный сигнал, после чего для экономии батареи он выключается. Две или более значительные разнесенные в пространстве приемные станции позволяют с хорошей точностью пеленговать источник сигнала и круглосуточно определять местоположение носорога.

Компьютер программируется, чтобы поднимать тревогу, если животное забрело в местность, где высока вероятность пребывания браконьеров, или если оно убито. Можно ввести капсулу и непосредственно в рог, так что когда преступники его отпилят, за их дальнейшими перемещениями не сложно следить. Команды по борьбе с браконьерами снабжаются транспортом и радиоустойчивыми для связи и слежения.

Одна из радиоэлектронных компаний ЮАР уже поставила экспериментальный комплект таких приборов властям Зимбабве, которые решено использовать в национальном парке Матусадона, расположенном на границе с Замбией. Здесь за последние пять лет численность носорогов сократилась со 150 до 16. Пользуясь пограничным положением национального парка, браконьеры легко уходили на территорию соседней страны, прежде чем обнаруживалась гибель животного. Еще

один комплект оборудования испытывается в заповеднике Умфолози (провинция Наталь, ЮАР).

В случае успеха, метод найдет широкое применение. В частности, он может быть использован и для охраны слонов.

New Scientist. 1993. V. 137. N 1861. P. 19 (Великобритания).

Охрана природы

Морские гиганты выжи- вают!

Национальная служба морского рыболовства США провела учет китов, населяющих прибрежные тихоокеанские воды штата Калифорния и пришла к оптимистическому выводу: численность голубого кита из рода полосатиков (*Balaenoptera*) за последние годы значительно выросла. Если в 1989—1990 гг. этих крупнейших в мире животных насчитывалось здесь не более 500, то теперь их поголовье превышает 2 тыс. Правда, в северной части Тихого океана 27 лет назад их обитало около 1600, а сейчас перепись в этой акватории не проводилась.

Отмечается увеличение численности и калифорнийского горбатого кита (род *Megaptera*) и финвала, или сельдяного кита (*B. physalus*).

Специалист по морским млекопитающим Дж. Барлоу (J. Barlow; Национальное управление по изучению океана и атмосферы США), называя этот факт первым признаком улучшения состояния водной среды, тем не менее считает, что голубого кита еще никак нельзя исключать из списка видов, находящихся под угрозой исчезновения. По крайней мере часть природы калифорнийского стада следует отнести за счет миграции из других мест, ибо за прошедшее между двумя учетами время их число могло естественным образом лишь удвоиться, но не учетвериться.

New Scientist. 1993. V. 138. N 1872. P. 11 (Великобритания).

Экология

Спутник поможет вино- градарию

Калифорнийские виноградники подверглись нападению филлоксеры — опаснейшего насекомого-вредителя. (Важно отметить, что виноградарство в этом штате, приносящее до 10 млрд. долл. дохода в год, служит одной из опор его экономики.)

Действенные пестициды против филлоксеры отсутствуют, и единственным методом борьбы с ней является прививка высококачественной лозы на корневище, обладающее повышенной сопротивляемостью. Однако ныне на виноградниках Калифорнии около 65 % растений борются с филлоксерой «не умеют», так что их придется выкорчевывать. При всей неизбежности этой процедуры можно сделать ее менее убыточной. Этой цели посвящена программа GRAPES (Grapevine Remote Sensing Analysis of Phylloxera Early Stress — дистанционное раннее определение и анализ подавленности лозы филлоксерой).

Первые зримые признаки поражения растений этим вредителем обычно возникают лишь через годы после начала заражения. Раннее предупреждение о неблагоприятии в состоянии лозы позволило бы виноградарям получить время для плановой замены посадок и еще успеть собрать ягоду, прежде чем растения будут выкорчеваны. Новые же растения дадут урожай лишь через четыре-пять лет после высадки.

В мае 1993 г. на виноградниках долины Напа, где сосредоточена большая часть плантаций, начато «сканирование» виноградной ливы: с помощью специальных приборов определяют, как изменилась ее способность отражать тепловое и световое излучение Солнца, а по этим изменениям судят, насколько подавлено растение воздействием вредителя. Однако с июля — августа 1993 г. те же измерения, но в значительно более широких масштабах, стали проводить со специально оборудованных самолетов и спутников. По их данным можно уста-

новить, в каких районах, на какого вида почвах корневая система поражена насекомым в наибольшей мере.

В программе участвует Эймсовский исследовательский центр НАСА и несколько университетов штата Калифорния. Результаты исследований будут бесплатно предоставлены в распоряжение владельцев виноградников во всем этом регионе.

New Scientist. 1993. V. 138. N 1870. P. 4 (Великобритания).

Геология

148-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюши»

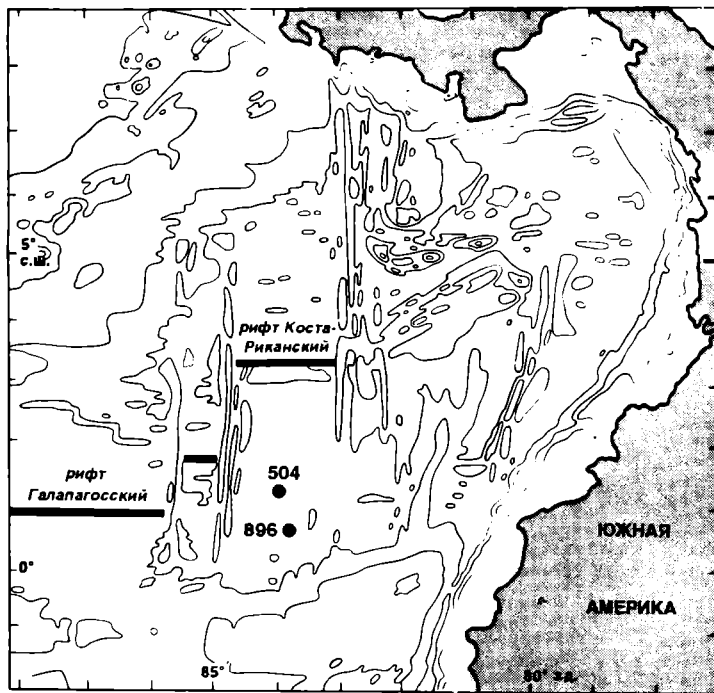
В конце 1992 г. в районе Галапагосского срединного центра проходил 148-й, последний на данном этапе бурения в Тихом океане рейс. Его научными руководителями были Дж. Олт (J. C. Alt; Университет штата Мичиган, США) и Х. Киносита (H. Kinoshita; Университет Токио, Япония)¹.

Основная задача рейса заключалась в продолжении бурения уникальной скважины 504В, которая была заложена в Коста-Риканской рифтовой зоне еще в 1979 г. в 69-м рейсе «Гломара Челленджера»² с целью прорыть в нижние слои океанской коры, имеющей здесь возраст 5,9 млн. лет. В дальнейшем скважина последовательно углублялась в 70-м, 83-м, 92-м рейсах «Гломара Челленджера» и в 111-м, 137-м и 140-м рейсах «ДЖОЙДЕС Резолюши»³. В настоящее время это самая глубокая скважина, пробуренная в океане за все время осуществления Программы глубоководного бурения: она перешагнула 2-километровый рубеж и достигла 2111 м.

¹ Led 148 Preliminary Report. ODP. Texas A&M University.

² Подробнее см.: Природа. 1980. № 7. С. 109—111.

³ См.: Природа. 1981. № 3. С. 100—102; 1983. № 2. С. 116—118; 1984. № 7. С. 116—117; 1984. № 8. С. 114—115; 1992. № 4. С. 117—118; 1992. № 7. С. 112—114.



Район Галапагосского спредингового центра, где велось бурение в 148-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюшн».

Бурение в предыдущих рейсах вскрыло типичный разрез океанской коры, представленный в верхней части осадочной толщей мощностью 274,5 м, ниже которой до глубины 571,5 м залегают преимущественно подушечные лавы базальтов толентового состава, сменяющиеся вниз по разрезу дайковым комплексом. Он сложен параллельными дайками и массивными потоками диабазов. Переход от подушечных лав к дайковому комплексу совершается постепенно в интервале 571,5—780,5 м. Зона перехода представляет собой чередование подушечных лав и малоотверженных потоков массивных лав с редкими дайками диабазов.

По результатам бурения в предыдущем, 140-м рейсе и сейсмическим данным можно было предположить, что скважина достигла нижней части комплекса параллельных даек вблизи сейсмической границы между вторым и третьим слоями океан-

ской коры. Многие специалисты полагают, что она совпадает с зоной перехода от дайкового комплекса к подстилающим его габбро, как это наблюдается в обнажающихся в настоящее время на континентах офиолитовых комплексах. Такой переход дайкового комплекса в габбро отмечался с подводных аппаратов в зонах крупных трансформных разломов в Атлантическом и Тихом океанах, однако до сих пор он не вскрыт ни одной скважиной глубоководного бурения. В то же время не исключено, что наблюдаемая в океане сейсмическая граница, интерпретируемая как граница между дайковым и габбровым комплексами, может отвечать зоне метаморфизма внутри габбро или нижней части дайкового комплекса. Поэтому главной целью бурения в 148-м рейсе было достичь и пересечь эту границу с тем, чтобы выяснить ее природу.

Бурением в рейсе пройдено 110,6 м в интервале глубин 2000,4—2111 м, средний выход зерна составил 10,4 %. На всем протяжении этот участок разреза сложен комплексом параллельных даек, которые зале-

гают под углом 76—88°, а по составу представлены массивными диабазами. Все вскрытые породы тонкозернисты (средний размер зерен 0,4—1,0 мм). Некоторые дайки сложены редкопорфировыми плагиоклаз-оливин-пироксеновыми, оливин-плагиоклаз-пироксеновыми или плагиоклаз-оливиновыми диабазами; в пяти из них отмечены зоны закалывания. Основная масса пород слабо или умеренно изменена (10—40 % перекристаллизации), хотя на отдельных участках они перекристаллизованы полностью. В целом же ориентировка, состав и характер изменений пород в дайках аналогичны тем, которые наблюдались в более высоких горизонтах, вскрытых в предыдущих рейсах.

На глубине 2111 м в процессе бурения встречена зона тектонического нарушения, что привело к резкому изменению условий работ и к заклиниванию бурового снаряда. Как полагают участники рейса, скважина прошла полностью зону перехода между вторым и третьим слоями океанской коры, хотя в последний не вошла. Сейсмические скорости в нижних 100 м разреза составляют 6,8 м/с, что характерно для третьего слоя. Породы, вскрытые в этом интервале, позволяют предполагать, что переход к сейсмическому слою 3 начинается внутри дайкового комплекса и не обязательно совпадает непосредственно с появлением габбро.

В связи с преждевременным прекращением бурения скважины 504В была пробурена в этом рейсе также скважина 896, расположенная в 1 км юго-восточнее (глубина океана 3439,8 м). Цель прохождения скважины в этой точке — изучить местные вариации в строении базальтов, их геохимическом составе по латерали, а также влияние гидротермальной активности на породы фундамента. Эти породы, вскрытые в интервале 179—469 м, представлены главным образом подушечными лавами и некоторым количеством массивных лавовых потоков и брекчий. Главное отличие базальтов в двух этих скважинах заключается в

том, что в скважине 896 больше массивных потоков и брекчий, породы в ней менее трещиноваты, в связи с чем в породах отсутствует морская вода. Возможно, этим же обусловлен подъем фундамента и высокий тепловой поток в данной точке.

© И. А. Басов,
доктор геолого-
минералогических наук
Москва

Геология

Мезозойские рифты и нефтегазоносность

В Институте тектоники и геофизики Дальневосточного отделения РАН изучаются строение и эволюция мезозойско-кайнозойских внутриконтинентальных рифтовых бассейнов Восточной Азии. Эти рифтовые бассейны занимают довольно широкую полосу (до 1000 км) вдоль восточной окраины Азии, прослеживаясь с севера на юг более чем на 6 тыс. км и группируясь в эшелонированные системы, контролируемые разломами. На территории Китая они изучены довольно хорошо в связи с обнаружением там богатых залежей углеводородов, что создает благоприятные перспективы для сравнительного анализа со слабо изученными бассейнами российского Дальнего Востока.

Фундамент бассейнов весьма разнороден: от мезозойских и палеозойских складчатых поясов до докембрийских кратонов, что наложило отпечаток на структурный стиль и величину этих осадочных бассейнов. Их образование и эволюция связаны как с глобальными, так и региональными факторами, которые влияли на характер седиментации, вулканизма, тектоники и глубинной структуры бассейна.

Первая фаза рифтогенеза относится к поздней юре — раннему мелу, что связано с субдукцией Тихоокеанской плиты под Восточную Азию. В это время сформировалась сеть разломов восток-северо-восточного и запад-северо-западного на-

правлений, а также север-северо-восточного направления; в дальнейшем эта разломная сеть неоднократно обновлялась. Характер движений по разломам был различным; не раз проявлялся вулканизм. В это время в довольно узких трогах накапливались терригенные, вулканокластические, иногда красочные осадки мощностью 2—4 км. В течение позднего мела темп погружения несколько замедлился, в некоторых бассейнах произошла инверсия.

В эоцене — раннем неогене началась вторая фаза рифтогенеза, наиболее ярко проявившаяся в восточных бассейнах (Бохай, Среднеамурская впадина, серия узких рифтовых бассейнов северо-восточного простирания). Она была связана с изменением около 43 млн. лет назад направления движения Тихоокеанской плиты, а также с коллизией Евразии и Индии. Вследствие активизации зон разломов в пределах бывших бассейнов образовалась серия горстов и грабенов (приподнятых и опущенных участков земной коры, ограниченных сбросами) преимущественно северо-восточного простирания, которые расчленены более молодыми северо-западными.

В рифтовую стадию накопилась мощная толща озерно-аллювиальных терригенных осадков, нередко угленосных. Вдоль бортов впадин проявлялся вулканизм. В пострифтовую стадию начали формироваться обширные заболоченные равнины. Для подобных рифтовых бассейнов характерна пониженная мощность коры вследствие подъема мантии, повышенные значения теплового потока, высокая сейсмичность.

Такие бассейны богаты энергетическими ресурсами.

© Г. Л. Кириллова,
доктор геолого-минералогических наук
Хабаровск

Геотектоника

«Живой» фундамент

В лаборатории тектоники платформ Геологического ин-

ститута РАН при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований начаты работы по изучению механизмов, обеспечивающих подвижность фундамента платформ, и выявлению той роли, которую играет эта подвижность во внутриплатформенном тектогенезе.

Ни одна из существовавших в прошлом или существующих в настоящее время геотектонических парадигм (будь то ортодоксальный фиксизм и мобилизм, геосинклинальная теория или новая глобальная тектоника) не дает удовлетворительного объяснения особенностям развития платформенных структур и геодинамике внутриплатформенного тектогенеза. Платформам традиционно отводится роль структур пассивных и мало подвижных. И несмотря на то, что факты, указывающие на внутреннюю подвижность фундамента платформ, известны достаточно давно, данная проблема была лишь обозначена в ряде работ. Вопрос оставался открытым как на концептуальном уровне, так и на уровне понимания конкретных механизмов структурно-вещественного преобразования фундамента молодых и древних платформ в процессе их геологической эволюции на стадиях формирования чехла и внутрикратонной активации.

К настоящему времени получены новые данные и сформулированы новые положения по этой проблеме. Установлено, что, вопреки распространенному мнению, фундамент платформенных структур является весьма подвижной субстанцией. Эта подвижность находит отражение в комплексе структурно-вещественных преобразований самого фундамента, в деформации его поверхности и залегающего выше осадочного чехла, в формировании глубинных диапиров и внедрении холодных кристаллических масс в верхние горизонты фундамента и осадочного чехла. На конкретных геологических примерах показано действие различных механизмов, обеспечивающих внутреннюю подвижность фундамента, среди которых пластическая деформация, хрупкая макроскопическая (блоковая) и микроскопическая

вая деформация, меланжирование, механическое дробление, динамическая рекристаллизация. Движение горных масс осуществляется за счет различных форм тектонического течения. Действие того или иного механизма и возникновение соответствующего структурно-вещественного сообщества (парагенезиса) предопределяются физико-механическими свойствами горных пород, геологическими условиями проявления деформационного процесса, типом и интенсивностью напряженного состояния горных масс. В приповерхностных условиях подвижность может возникать в режиме «холодной деформации» — подвижными при этом могут становиться даже холодные кристаллические породы типа гранитов. По нашим представлениям, нижняя «сейсмически непрозрачная» кора платформенных областей — это тектонически активный горизонт течения вещества и структурно-вещественной дисгармонии, который играет во многом определяющую роль в тектонике платформ, в частности, в формировании осадочных бассейнов¹.

Все эти данные позволили выдвинуть предположение о реальной и широкомасштабной тектонической подвижности горных масс платформенного основания на всех уровнях глубинности и о, возможно, ведущей роли этой подвижности в платформенном тектогенезе. Данное положение нашло подтверждение при анализе геодинамики конкретных регионов, в частности при построении геодинамической модели крупного внутриконтинентального горно-го сооружения (Южный Тянь-Шань).

Принципиально важным представляется положение о реидном (от греч. *reo* — течь) поведении пород платформенного фундамента, которое на феноменологическом уровне было сформулировано профессором университета в Натале Л. Кингом (1967) и получило реальное подтверждение и развитие в лаборатории тектоники платформ ГИНА РАН. Реидная

деформация пород включает в себя все разновидности тектонического течения: пластическое, хрупкопластическое, какталастическое.

Учитывая новые данные, для платформенных областей (и континентальных плит вообще) может быть предложен механизм «тектоники истечения» (или реидной компрессионно-эжективной тектоники). Сущность этого механизма заключена: в латеральном тектоническом тении горных масс на разных уровнях платформенной литосферы в неоднородном поле напряжений, вызванном как внутренней структурно-вещественной неоднородностью тектоносферы, так и приложением внешних тектонических сил; в трансформации латеральных токов в вертикальные; в образовании зон оттока вещества (впадины, синеклизы, кольцевые синклиории), зон ламинарного течения (стабильные плитные участки) и зон нагнетания (щиты, антеклизы, протрузии, тектонодиапиры, внутриконтинентальные орогены и пр.). Выявленные закономерности — это существенный шаг в создании общей концепции внутриплитного тектогенеза.

© М. Г. Леонов,
доктор геолого-
минералогических наук
Москва

Геотектоника

Разлом Романш — геодинамически неустойчивая система

Трансформные разломы — один из наиболее распространенных типов тектонических структур современных океанов. Эти протяженные линейные депрессии, обрамленные по бортам поднятиями, расположены ортогонально срединно-океаническим хребтам Мировой рифтовой системы и рассекают их на сегменты, практически всегда смещенные друг относительно друга на то или иное расстояние.

В Атлантическом океане

самый крупный трансформный разлом — Романш — прослеживается от Африки до Южной Америки. Он смещает Срединно-Атлантический хребет почти на 900 км, а перепад рельефа в пределах этой структуры достигает 5 км, что сравнимо с самыми высокими горными системами на континентах. Эта грандиозная структура давно привлекает внимание исследователей, но определенной гипотезы ее происхождения и тектонического развития, удовлетворяющей большинству имеющихся фактов, до настоящего времени не разработано.

В 1992 и 1993 гг. в восточной части разлома Романш были проведены две российско-итальянские экспедиции (13-й и 14-й рейсы научно-исследовательского судна «Академик Николай Стрехов»). Они осуществлялись в соответствии с проектами «Глубинные геосферы» и PRIMAR (Russian-Italian Mid-Atlantic Ridge Project; научные руководители Ю. М. Пуцаровский и Э. Бонатти). Начальником экспедиции 1993 г. был автор настоящего сообщения.

По результатам батиметрической съемки, геофизическим профилям через отдельные осадочные бассейны и драгировкам (с учетом ранее опубликованных данных) была составлена тектоническая схема, которая позволяет предложить интерпретацию геодинамики разлома Романш. Мы исходим из того, что разлом Романш не является моноструктурой, как многие разломы Атлантики (Вима, Кейн, Чейн и др.). Он может быть подразделен на несколько самостоятельных структур, или геодинамических систем (Романш-1, Романш-2, Романш-3), сменяющих друг друга во времени и пространстве.

Романш-1 — самая древняя из выделяемых структур. Это односторонний грабен с поднятым северным крылом. Эшелонированные структуры опущенного крыла характери-

¹ Леонов Ю. Г. // Геотектоника. 1991. № 6; 1993. № 5.

¹ О первой из них см.: Разница Ю. Н. Российско-итальянская экспедиция в экваториальную Атлантику // Природа. 1993. № 4. С. 114—116.

зуют эту систему как двусторонний сдвиг с взбросовой вертикальной составляющей. С такой морфологией разлома хорошо согласуются проявления тектонитов в основании плоскости сброса при относительно ненарушенных породах, слагающих сам сброс и его верхнюю кромку. В восточном направлении Романш-1 редуцируется почти до полного исчезновения, что сопровождается появлением новой субпараллельной структуры — Романш-3, омолаживающей в этом же направлении. Система Романш-1 имеет выдержанное восток-северо-восточное простирание, что по геодинамическим критериям концепции тектоники плит соответствует структурам с очень большим полюсным расстоянием.

Более поздняя геодинамическая система Романш-2, в отличие от Романш-1, представляет собой двусторонний грабен; ограничивающие его с юга и севера сбросы, наклонены навстречу друг другу. Эшелонированных структур, которые свидетельствовали бы о кинематике сдвига в обстановке общего сжатия, не фиксируется. В направлении с запада на восток структуры Романш-2 постепенно почти полностью срезают

полосу субширотных структур опущенного крыла Романш-1.

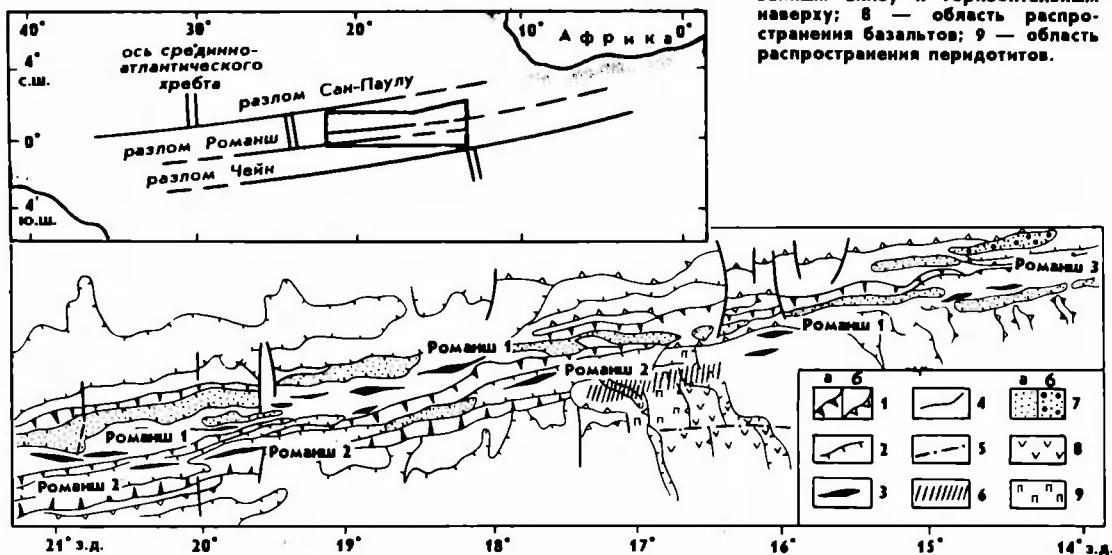
Особо остановимся на строении восточного сочленения разлома Романш-2 с рифтовой долиной. Здесь не обнаружено обычной для зон сочленения рифтовой и трансформных долин впадины и углового поднятия, нет выраженной рифтовой долины и практически отсутствует базальтовый вулканизм. Четко прослеживаемая на юге разломная граница долины резко обрывается западнее. Эти наблюдаемые факты можно объяснить исходя из постепенного продвижения рифта в северном направлении, при котором тектонические процессы несколько опережают магматические («сухой» спрединг диффузного типа). Другая особенность этой зоны связана с дискретным перескакиванием (джампингом) рифта в восточном направлении.

Возникновение новой динамической системы Романш-2 привело к отмиранию и «запечатыванию» старой. Произошло продвижение западного рифта на юг, в его современное положение, без широтного смещения. Восточный сегмент рифта сформировался значительно западнее существовавшего прежде. Это привело к полной

перестройке всей системы и заложению нового трансформного разлома. Новый рифт (восточный) многократно смещался на восток при его продвижении (наверное, тоже скачкообразном) на север вплоть до современного положения.

Главный вывод состоит в том, что разломную зону Романш нельзя рассматривать как единую в динамическом, кинематическом и историческом смысле структуру. Разные ее сегменты развивались не только в разное время, но и по разным динамическим и кинематическим законам. Более того, зона разлома непостоянна и в пространстве: область деформаций перемещается не только по простиранию структуры, но и

Район работ российско-итальянских экспедиций в экваториальной Атлантике и тектоническая схема системы разломов Романш. 1 — плоскости тектонических сбросов: а — крутые, б — пологие; длина треугольников пропорциональна превышению, толщина — углу склона; 2 — граница горизонтальной или наклонной структурной террасы; 3 — линейные тектонические поднятия; 4 — другие структурные линии; 5 — малоамплитудный трансформный разлом, 6 — формирующийся трансформный разлом; 7 — впадины с осадочным чехлом: а — горизонтальным, б — деформированным вкосу и горизонтальным наверху; 8 — область распространения базальтов; 9 — область распространения перидотитов.



вкрест нее, создавая новые разломные зоны с несколько иной пространственной ориентацией.

© А. А. Пейве,
кандидат геолого-
минералогических наук
Москва

Вулканология

Вулкан Галерас вышел из себя

Еще в начале 1988 г. военнослужащие поста связи, расположенного на склоне горы Галерас (южная Колумбия), обнаружили, что из трещин в земле стали подниматься клубы газа, начались толчки и камнепады, однако тогда события далее этого не развивались. Лишь в январе 1993 г. дело приняло серьезный оборот.

Начавшееся бурное извержение сопровождалось выбросом вулканических бомб; одной из них был серьезно ранен проводивший наблюдения С. Уильямс (S. Williams; Университет штата Аризона, США). Его коллега С. Накада (S. Nakada; Университет Кюсю, Фукуока, Япония) продолжил исследование: 14 января, находясь в 2 км от кратера, он наблюдал сильный взрыв. Сотрудники Института геологии и минералогии Колумбии фиксировали до 8 подземных толчков в сутки, магнитуда некоторых достигала 2,2 по шкале Рихтера. Выброс сероводорода из кратера в конце января резко возрос — до 562 т/сут. По мнению специалистов, все это было вызвано передвижениями жидкой расплавленной материи в подземной камере.

Взрыв привел к образованию внутри главного кратера нового небольшого купола. Наблюдения за этими событиями сопровождалась трагедией: спустившиеся в самый кратер в момент затишья колумбийские ученые Х. А. Сапата и Н. Гарсия (J. A. Zapata, N. Garcia) погибли под градом вулканических бомб, успев сообщить, что температура в fumarole достигала 642 °С; более 70 % газов приходилось на диоксид углерода.

Вулканологи объясняют бурный характер событий тем, что после предыдущего периода активности в кратере Галераса возникла пробка из остывшей магмы, которая образовала мощный купол и долго препятствовала спокойному истечению газов. К середине января сильно поднявшееся давление газов привело к взрыву. В дальнейшем, как показали облеты вершины, выделение газов значительно сократилось, и сейчас Галерас вступил в менее опасную полосу своей активности.

Помимо колумбийских, американских и японских ученых в наблюдениях принимали участие вулканологи из Флорентийского (Италия) и Монреальского (Канада) университетов.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1993. V. 18. N 1. P. 8 (США).

Палеонтология

Яйцо «слоновой» птицы

Двое австралийских ребята, гуляя неподалеку от берега моря возле городка Сервантес, что в 250 км к северу от Перта (штат Западная Австралия), наткнулись на птичье яйцо невиданных размеров. Когда его доставили в город и измерили, оказалось, что его окружность около 80 см, а длина 30 см.

Палеонтолог Дж. Лонг (J. Long; Западно-Австралийский музей в Перте) установил, что яйцо было принесено на этот континент волнами Индийского океана с-о. Мадагаскар, расположенного в 6 тыс. км.

Еще 300 лет назад на Мадагаскаре встречалась «слоновая» птица (*Aepyornis titan*). Ее рост достигал 3 м, а масса — около 450 кг; летать эпиорнис титан, естественно, не мог. Неудивительно, что туземные охотники покончили с последним экземпляром этого вида еще до заселения острова белыми людьми.

Найденное яйцо лежало не у самой кромки берега, а среди древних песчаных дюн, некогда бывших побережьем.

Отсюда делается вывод, что оно попало в Австралию в весьма отдаленные времена, тысячи лет назад.

Надо сказать, что подобный эпизод уже случился 63 года назад: на берегу р. Скотт, в 200 км к северу от Перта, было обнаружено несколько меньшее яйцо эпиорнис титана. Тогда его приняли за подделку, но теперь очевидно, что и оно было подлинным.

Новую находку палеонтологи хотели бы изучить, пробуравив в нем узкое отверстие и взяв материал для анализа. Но сделать это они смогут, лишь купив яйцо у тех, кто его нашел. Согласно австралийским законам, подобные объекты за границу вывозить запрещено, а в пределах страны их можно продавать и покупать. Родители ребятшек надеются получить сотни тысяч долларов, а Западно-Австралийский музей ищет спонсоров, чтобы завладеть уникальным экспонатом.

New Scientist. 1993. V. 137. N 1866 (Великобритания).

КОРОТКО

Западноевропейский спутник «ERS-1», запущенный более шести лет назад на околоземную орбиту высотой 780 км, снабжен оборудованием, регистрирующим состояние поверхности моря. За время его существования в распоряжение океанографов предоставлен целый ряд радиолокационных изображений поверхности Гибралтарского пролива и примыкающих акваторий Средиземного моря и Атлантического океана. На этих изображениях отчетливо различимы волны, движущиеся из Атлантики в Средиземное море. Для наземного наблюдателя эти волны, имеющие длину 2 км, проявляли бы себя лишь как чередующиеся полосы гладкой и слегка

взволнованной воды. Их возникновение связано с существованием в море слоев с резко различающейся соленостью.

New Scientist. 1993. V. 138. N 1882.
P. 10 (Великобритания).

В США и Великобритании подписано соглашение о постройке двух 8-метровых оптических телескопов, вдвое превышающих по размерам нынешние. Один из телескопов, получивших наименование «Gemini» («Близнецы»), намечено соорудить на Гавайских о-вах, другой — в Чили. Оба должны вступить в строй к 2000 г. В близкой инфракрасной части спектра они позволят увидеть объекты поперечником всего 0,07" (0,00002°). Таким образом, впервые появится возможность детально наблюдать процессы рождения звезд и развития галактик.

New Scientist. 1993. V. 139. N 1835.
P. 7 (Великобритания).

В Димитровграде Ульяновской обл. (Россия) в январе 1993 г. был запущен исследовательский реактор СМ-3. Это позволяет продолжить широкий круг исследований, связанных с реакторным материаловедением, источниками высокой удельной активности, наработкой трансплутониевых элементов, а также осуществить целый ряд интересных проектов термоядерной направленности.

Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. 1993. № 4. С. 86.

Ветеран российской атомной промышленности химический комбинат «Маяк» с 1993 г. стал перерабатывать ядерных отходов больше, чем их создается в ходе технологических процессов. Остеклованные, а за-

тем «запакованные» в стальную тару слитки радиоактивных отходов, по мнению специалистов ряда стран, — наиболее удачный и дешевый способ подготовки их к долгосрочному и безопасному хранению. Темпы внедрения этого процесса неуклонно растут благодаря освоению технологии и оборудования, созданных учеными и специалистами екатеринбургского НИИ химического машиностроения.

Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. 1993. № 4. С. 91.

По данным экспертов ВОЗ, в настоящее время потеря зрения в 50—80 % случаев вызвана катарактой, а 13,6 млн. чел. в мире нуждаются в хирургическом лечении этого заболевания.

Weekly epidemiological record. 1993.
V. 69. N 14, P. 95 (Швейцария).

Над номером работали
Ответственный секретарь
Л. П. БЕЛЯНОВА

Заместитель ответственного секретаря
В. И. ЕГУДИН

Научные редакторы
И. Н. АРУТЮНЯН
О. О. АСТАХОВА
А. Н. ГРИЦУК
М. Ю. ЗУБРЕВА
Г. М. КАРАСЕВА
Г. В. КОРОТКЕВИЧ
Л. Д. МАЙОРОВА
Н. В. УСПЕНСКАЯ
О. И. ШУТОВА

Литературный редактор
Г. В. ЧУБА

Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией
И. Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Е. Е. БУШУЕВА

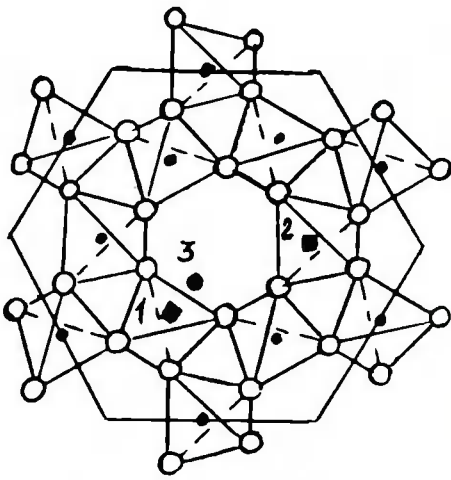
Корректоры
В. И. ГУЛИНА
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА

В художественном оформлении номера принимали участие
В. С. КРЫЛОВА
В. И. ЕГУДИН

Сдано в набор 13.12.93
Подписано в печать 25.02.94
Формат 70×100 1/16
Бумага типографская № 2
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 62,2 тыс.
Уч.-изд. л. 15,2
Тираж 23 260
Зак. 1944

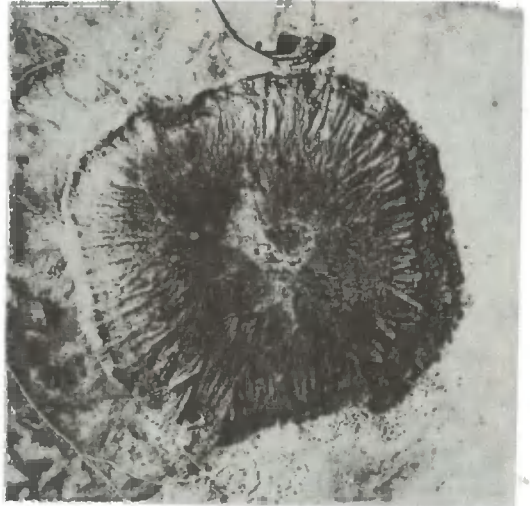
Ордена Трудового Красного Знамени
Чеховский полиграфический комбинат
142300, г. Чехов
Московской области

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароковский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-26-33



Существует множество ситуаций, в частности связанных с аварией на Чернобыльской АЭС, когда надо реконструировать дозу облучения, полученную в прошлом тем или иным объектом. В решении таких задач большие возможности открывают методы электронного парамагнитного резонанса и термолюминесценции.

Брик А. Б., Радчук В. В. РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ДОЗИМЕТРИЯ

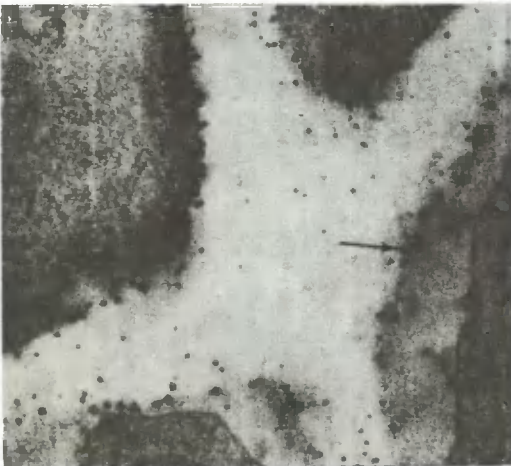


Хотя найти и идентифицировать ударно-взрывные космогенные структуры на поверхности Земли удается с большим трудом, их роль в геологической истории планеты очевидна.

Зейлик Б. С., Зозулин А. В. КОЛЬЦЕВЫЕ КОСМОГЕННЫЕ СТРУКТУРЫ

При поисках оруденения, не имеющего непосредственного выхода на земную поверхность, на помощь геологам зачастую приходит физико-химическое моделирование.

Сворцов В. А. КАК ИСКАТЬ СКРЫТЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ?



Долгое время считалось, что нейромедиаторы присущи только организмам, обладающим нервной системой. Однако сегодня они обнаружены и в растительном мире.

НЕЙРОМЕДИАТОРЫ В РАСТЕНИЯХ

Индекс 70707



ISSN 0013-788X. Журнал «Геология», 1993, № 1, с. 1-128.