

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

11 99





Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора доктор физико-математических наук А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

доктор физико-математических наук А.А.КОМАР (физика),

доктор биологических наук А.К.СКВОРЦОВ (биология),

доктор геолого-минералогических наук А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Доктор геолого-минералогических наук С.В.АПЛОНОВ (геофизика), О.О.АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), доктор геолого-минералогических наук А.Т.БАЗИЛЕВСКИЙ (планетология), доктор геолого-минералогических наук И.А.БАСОВ (геология), кандидат химических наук Л.П.БЕЛЯНОВА (редактор отдела экологии и химии), кандидат технических наук В.П.БОРИСОВ (история науки), член-корреспондент РАН В.Б.БРАГИНСКИЙ (физика), доктор физико-математических наук А.Н.ВАСИЛЬЕВ (физика), доктор географических наук А.А.ВЕЛИЧКО (география), академик М.Е.ВИНОГРАДОВ (биоокеанология), академик РАН А.И.ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н.Н.ВОРОНЦОВ (охрана природы), член-корреспондент РАН С.С.ГЕРШТЕЙН (физика), доктор биологических наук А.М.ГИЛЯРОВ (экология), академик Г.С.ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), кандидат физико-математических наук Ю.К.ДЖИКАЕВ (ответственный секретарь), академик Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), академик А.М.ДЫХНЕ (физика), академик Г.А.ЗАВАРЗИН (микробиология), академик Ю.А.ЗОЛОТОВ (химия), М.Ю.ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), академик РАН В.И.ИВАНОВ (генетика), академик В.ТИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В.А.КАБАНОВ (химия), доктор физико-математических наук М.В.КОВАЛЬЧУК (физика), Г.В.КОРОТКЕВИЧ (редактор отдела научной информации), академик Н.П.ЛАВЕРОВ (геология), член-корреспондент РАН В.В.МАЛАХОВ (зоология), доктор биологических наук К.Н.НЕСИС (биология), член-корреспондент РАН Л.В.РОЗЕНШТРАУХ (физиология), П.Е.РУБИНИН (история науки), член-корреспондент РАН А.Н.САХАРОВ (история), академик В.П.СКУЛАЧЕВ (биохимия), кандидат физико-математических наук К.Л.СОРОКИНА (редактор отдела физики и математики), член-корреспондент РАН Н.П.ТАРАСОВА (физическая химия), Н.В.УЛЬЯНОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), Н.В.УСПЕНСКАЯ (редактор отдела истории естествознания и публицистики), академик Л.Д.ФАДДЕЕВ (математика), член-корреспондент РАН М.А.ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор биологических наук С.Э.ШНОЛЬ (биофизика), О.И.ШУТОВА (редактор отдела охраны природы), член-корреспондент РАН А.М.ЧЕРЕПАШУК (астрономия, астрофизика).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.

Лежбище моржей на Больших Оранских о-вах. Август 1998 г. См. в номере: **Вехов Н.В.** Морж на севере архипелага Новая Земля.

Фото автора

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.

Ущелья на р.Даняня попадают в зону влияния будущего гигантского водохранилища на р.Янцзы. См. в номере: **Митина Н.Н.** «Три ущелья» — крупнейший гидротехнический проект мира.



Издательство «Наука» РАН

© Российская академия наук,
журнал «Природа», 1999

В НОМЕРЕ

3 Никонов А.А. **СЕЙСМИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА В ТУРЦИИ**

Свыше 18 тыс. погребенных, 35 тыс. оставшихся под развалинами, более 23 тыс. раненых, 600 тыс. лишившихся крова, около 40 млрд долл. материального ущерба — такого Европа и Ближний Восток давно не помнят.

10 Мирнов С.В. **ТОКАМАКИ: ТРИУМФ ИЛИ ПОРАЖЕНИЕ?**

Какая энергетика придет в XXI в. на смену современной, основанной на сжигании органического топлива и порождающей массу проблем, — ядерная или более экологически чистая, термоядерная? Современные токамаки как термоядерные реакторы уже приблизились к уровню первых атомных реакторов. Однако на этом тернистом, но поступательном пути «термояда» возникли непредвиденные трудности...

23 Бляхман Ф.А. **МНОГО ЛИ МЫ ЗНАЕМ О СЕРДЦЕ?**

Известно, что сердце обладает собственными регуляторными механизмами: водителем ритма, системой кровообращения, химическими стимуляторами и т.д. Как выяснилось, компенсаторные возможности сердца этим не ограничиваются. Механическая неоднородность, а точнее асинхронность работы миокарда, — звено той же цепи.

31 Бурзин М.Б., Гниловская М.Б. **КАКИМИ БЫЛИ ДРЕВНЕЙШИЕ ЖИВОТНЫЕ**

Находки червеобразных организмов в Китае и на Русской платформе заставляют усомниться в том, что предками настоящих многоклеточных были эдиакарские животные. Кто же может претендовать на роль основателя фанерозойской фауны?

42 Несис К.Н. **ГЛУБОКОВОДНЫЙ ОСЬМИНОГ СВЕТИТ ПРИСОСКАМИ**

44 КРАСНАЯ КНИГА **Вехов Н.В.** **МОРЖ НА СЕВЕРЕ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ**

51 Митина Н.Н. **«ТРИ УЩЕЛЬЯ» — КРУПНЕЙШИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ МИРА**

Грандиозность плотины, ГЭС и водохранилища, которые будут построены в среднем течении Янцзы в начале XXI в., позволяет многим сравнивать этот проект с Великой Китайской стеной.

63 Сурдин В.Г. **КОНЕЦ ЭПОХИ ФОТОГРАФИИ?**

67 Ноздрачев А.Д., Пастухов В.А. **ГЕНИАЛЬНЫЙ ВЗМАХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ МЫСЛИ К 170-летию со дня рождения И.М.Сеченова**

Многие разделы современной физиологии своими корнями уходят к открытиям выдающегося ученого Ивана Михайловича Сеченова, посвятившего себя «копанию истины» не только в лаборатории, но и в жизни.

76 НОВОСТИ НАУКИ **КОРОТКО (22, 62, 75, 87)** **ОБЪЯВЛЕНИЯ (66)**

89 РЕЦЕНЗИИ **Замятнин А.А.** **ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ВАРИАЦИИ**

91 НОВЫЕ КНИГИ

93 ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ **Рагнар Гранит** **ВПЕЧАТЛЕНИЯ О ПАВЛОВЕ И ШЕРРИНГТОНЕ**

CONTENTS

3 Nikonov A.A.

SEISMIC DISASTER IN TURKEY

With more than 18 000 people buried, 35 000 left under ruins, more than 23 000 injured, and 600 000 left homeless, the Turkish earthquake, which has caused some \$40 billion damage, is an unprecedented disaster in modern history of Europe and Near East.

10 Mirnov S.V.

TOKAMAKS: A TRIUMPH OR A DEFEAT?

Which energy paradigm will take the place of the present fossil fuel combustion with its numerous side effects: nuclear energy or the environmentally safer thermonuclear energy? The modern tokamaks as thermonuclear reactors have already approached the level of the first nuclear reactors. However, the implementation of fusion has encountered an unforeseen obstacle.

23 Blyakhman F.A.

DO WE KNOW MUCH ABOUT THE HEART?

It is common knowledge that the heart has its own regulatory mechanisms: the rhythm driver, blood circulation system, chemical stimulators, etc. It was found that the compensatory capabilities of the heart go beyond this. The mechanical inhomogeneity or, to be more precise, asynchronicity of the myocardium is a link in the same chain.

31 Burzin M.B. and Gnilovskaya M.B.

WHAT THE OLDEST ANIMALS WERE

The finds of wormlike organisms in China and the Russian platform challenge the accepted thesis that the ancestors of the present Metazoa were Ediacaran animals. Who can claim to be the founder of Phanerozoic fauna?

42 Nesis K.N.

A DEEP-SEA OCTOPUS WITH LUMINESCENT SUCKERS

44 RED DATA BOOK

Vekhov N.V.

WALRUSES IN THE NORTHERN PART OF NOVAYA ZEMLYA

51 Mitina N.N.

«THREE GORGES»: THE WORLD'S LARGEST HYDRO PROJECT

The dam, hydroelectric power station, and reservoir to be built on the middle reaches of the Yangtze River in the early 21st century will compete in grandeur with the Great Wall of China.

63 Surdin V.G.

THE END OF THE EPOCH OF PHOTOGRAPHY?

67 Nozdrachev A.D. and Pastukhov V.A.

THE BRILLIANT WAVE OF PHYSIOLOGICAL THOUGHT On the 170th Anniversary of I.M. Sechenov's Birth

Many subdivisions of modern physiology are rooted in the discoveries of the outstanding scientist Ivan Mikhailovich Sechenov, who dedicated himself to "digging out the truth" not only in the laboratory but also in life.

76 SCIENCE NEWS IN BRIEF (22, 62, 75, 87) ADVERTISEMENTS (66)

89 BOOK REVIEWS

Zamyatnin A.A.

NATURAL PROCESSES AND THEIR VARIATIONS

91 NEW BOOKS

93 ENCOUNTERS WITH THE FORGOTTEN

Ragnar Granit

IMPRESSIONS OF PAVLOV AND SHERRINGTON

Сейсмическая катастрофа в Турции

А.А.Никонов,

доктор геолого-минералогических наук
Объединенный институт физики Земли РАН
Москва

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ силой 9 баллов и магнитудой 7—7.5 в Турции, как и вообще в европейско-азиатском секторе Альпийского подвижного пояса, не такая уже редкость. В XX в. их здесь было несколько десятков. Но катастрофа 17 августа 1999 г. по своим последствиям явно выделяется. Ее можно ставить на один уровень с такими известными бедствиями века, как Мессинское землетрясение 1908 г., Ашхабадское 1948 г., Спитакское 1988 г. В самой Турции это землетрясение оказалось самым губительным за последние 100 лет. Свыше 18 тыс. погребенных, 30—35 тыс. оставшихся под развалинами, 23—27 тыс. раненых, 500—600 тыс. лишившихся крова (табл.1). Материальный ущерб — 20—40 млрд амер. долл. Такого Европа и Ближний Восток давно не знали. При нынешней катастрофе потери Турции достигли двух третей всех ее потерь от землетрясений XX в., причем ущерб, оцененный в одну десятую национального дохода, — это в стране впервые.

Причины столь крупного бедствия ясны. Землетрясение постигло обширную область с плотным населением, довольно развитой инфраструктурой, крупными промышленными объектами. Качество массовой застройки в последние десятилетия оказалось совершенно неудовлетворительным. Прогнозных ожиданий не было, население и управленческие структуры к катастрофе подобного масштаба оказались не готовы. К тому же толчок произошел ночью, когда все люди находились в домах.

«Турцию трясло на 7 баллов», — так озаглавила свое сообщение одна уважаемая газета. И тем самым проде-

монстрировала свое сейсмологическое невежество, запутала своих читателей. И никакие разъяснения сейсмологов не помогают — журналисты никак не могут усвоить различия двух шкал: Рихтера и сотрясений.

Шкала Рихтера — это устанавливаемая по инструментальным записям энергетическая характеристика (от 1 до 9 усл. ед.), определяющая количество энергии, высвобождающейся в очаге, т.е. на глубине. Это магнитуда. Ее показатель позволяет сравнивать энергии разных сейсмических толчков.

Шкала балльности (от 1 до 12 баллов) характеризует степень воздействия землетрясения на поверхность в конкретном месте. Балльность даже в эпицентральной области зависит не

Таблица 1
Число жертв при наиболее разрушительных землетрясениях XX в. в Турции

Дата	Место события	Магнитуда	Число жертв
1903, 29.IV	Малазгирт	7.0	6000 (3560)*
1912, 9.VIII	о.Мармара	7.4	2836 (3000)
1939, 27.XII	Эрзинджан	7.9	32700
1942, 20.XII	Эрбаа	7.1	500 (1100)
1943, 26.XI	Ладик	7.3	4020
1944, 1.II	Болу (Герееде)	7.3	2790
1953, 18.III	Ениджа	7.5	1070
1964, 6.X	Маньяс	6.9	1800
1966, 19.VIII	Варто	6.8	21700 (2520)
1970, 28.III	Гедиз	7.1	1100
1975, 6.IX	Лидже	6.7	2380
1976, 24.XI	Чалдиран	7.3	5000 (3800)
1983, 30.X	Нарман	6.9	2000 (1150)
1999, 17.VIII	Измит	7.4	более 15000

* В скобках приведены данные менее надежных определений.

только от энергии очага, но и от его глубины, механизма и грунтово-геологических условий. Именно балльность — величина, определяемая визуально, используемая в строительных нормах независимо от магнитуды, наиболее доступна пониманию неспециалистов. Однако выдающийся американский сейсмолог Чарлз Рихтер к шкале балльности отношения не имеет, и не следует его почитать всеу.

Сказать, что «Турцию трясло на 7 баллов», — это значит утверждать, что в эпицентральной области были лишь легкие повреждения старых построек и ни о каких жертвах и речи нет (разве что кирпич случайно свалился кому-то на голову).

Последнее событие в Турции в районе г.Измит — землетрясение силой до 10 баллов при магнитуде 7.4—7.8. Интенсивность его примерно такая же, как Спитакского 1988 г. и японского (в Кобэ) 1995 г., но энергия в очаге значительно выше.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН NAFZ

Даже те, кто не интересовался специально геологией Турции, вероятно, читали или слышали о выдающейся геологической структуре, проходящей по территории этой страны. Речь идет о всемирно известном Северо-Анатолийском разломе (North Anatolian Fault Zone) — зоне разрывов субширотного простирания, протянувшейся более чем на 1000 км через весь п-ов

Малой Азии. Эта зона считается границей двух подвижных плит — Анатолийской и Черноморской. Она располагается на удалении 50—100 км от Черноморского побережья Турции и рассекает разные элементы рельефа, переходя из одного речного бассейна в другой. Геологическими исследованиями установлено, что Северо-Анатолийский разлом — крупный правосторонний сдвиг. С начала плиоцена смещения по нему составили 25—40 км. Специальные повторные геодезические измерения, как наземные, так и с помощью космической техники, определили скорость смещения южного крыла относительно северного к западу в несколько сантиметров в год.

При наличии в зоне разлома ветвей, кулисных подставлений, изгибов (т.е. зацеплений) время от времени здесь не могут не возникать мощнейшие землетрясения. Так и происходит в действительности. За последние 60 лет Северо-Анатолийский разлом породил около 10 сильных и очень сильных сейсмических событий, причем развивались они в определенной последовательности.

Очень важно, что подвижка, в том числе и видимая на поверхности, при каждом из них была правосторонней, составляла значительную величину (0.5—3.0 м) и была пропорциональна магнитуде соответствующего землетрясения. В этот раз разлом вскрылся на протяжении свыше 100 км, а максимальная измеренная подвижка достигла 4.9 м (табл.2.).

Таблица 2

Основные характеристики разрывообразования (правый сдвиг) вдоль Северо-Анатолийского разлома при сильнейших землетрясениях XX в.

Год события	Магнитуда, M_s	Длина участка разрыва, км	Максимальная наблюдаемая величина горизонтальной подвижки, м
1939	7.9—8.0	500 (320)	7.5 (3.7)
1942	7.1	100 (35)	1.7
1943	7.3	≥280	1.5
1944	7.3	300 (≥180)	3.5
1957	7.0	60	1.6
1967	7.1	65	1.9
1999	7.8	≥110	4.9 (2.6)

ИЗ ГЛУБИНЫ ВЕКОВ

Для северо-запада Турции письменная история исчисляется двумя тысячелетиями, ибо земля эта неизменно оставалась областью обитания сначала древних греков, затем римлян и византийцев. Когда-то на берегу Измитского залива стоял античный город Никомедия. Согласно хроникам, он и его окрестности разрушались мощными землетрясениями 69, 358 и 554 гг. Их эпицентральные области, вероятно, были близки к эпицентру последнего землетрясения, а интенсивность колебаний, судя по сохранившимся описаниям разрушений, приближалась к 9—10 баллам.

Нынешний Стамбул — наследник Константинополя, а перед тем Византия, столица великих империй, чья история запечатлена в многочисленных трудах средневековых хронистов. Поскольку землетрясения в древности всегда рассматривались как предвестники бедствий общественных и государственных, фиксировались такие события достаточно полно. Во всяком случае в столице. Поэтому сообщения о землетрясениях в этой части империи весьма многочисленны.

Византийский историк Лев Диакон, например, пишет, что «страшное землетрясение, какому равного не бывало в те времена, опрокинуло башни Византия, повалило множество домов, которые стали могилами для их обитателей, соседние с Византием селения разрушило до основания и причинило смерть многим деревенским жителям»¹. Это событие относится к 989 г. Византийский поэт Иоанн Геометр описал катастрофу в следующих стихах:

В ужасных корчах вся земля колеблется:
Дрожит она внутри — снаружи молнии
Испепеляют самый пепел пламенем,
Срывают города зубцы со стен своих
И наземь их бросают с плачем горестным.
Так волосы себе рвут девы в трауре².

В 1199 г. около Константинополя снова произошло мощное землетрясение. Император, спасаясь, вышел со свитой из города, но земля разверзлась, поглотив шедших впереди него придворных.

Землетрясения более позднего периода отмечались и в славянских источниках. Так, в рукописи XVI в. старца Филофея находим свидетельство того, что «в царствующем граде (Царьграде — Константинополе) был трус: стены города колебались и большие дома рушились до основания, без милости убивая живущих в них»³.

Когда же непосредственно в этом районе возникло последнее сейсмическое событие такого масштаба? На берегах Измитского залива известно разрушительное землетрясение 1719 г., по видимому, в 10 баллов. Во всяком случае тотальные разрушения захватили площадь большую, чем при катастрофе 1999 г. По дошедшим до нас описаниям⁴, область распространения 9-балльной и 8-балльной изосейст была значительнее, и ощутимые сотрясения распространялись гораздо дальше, достигая городов Салоники, Измир и о.Хиос. Это позволяет оценивать магнитуду землетрясения 1719 г. в 7.5—8, т.е. его энергия сопоставима с энергией Великого Эрзинджанского землетрясения 1939 г. на восточном краю Северо-Анатолийского разлома и в 10—15 раз превышает энергию землетрясения 1999 г.

Отметим два момента: во-первых, оба землетрясения на северо-западе страны имели очаги, вытянутые широтно, в точном соответствии с простиранием Северо-Анатолийского разлома. Несомненно, оба события связаны с проскальзыванием блоков земной коры именно по этому разлому (правостороннему сдвигу). Во-вторых, несмотря на большую разрушительную силу, землетрясение XVIII в. унесло, насколько известно, 6 тыс. жизней (возможно, до

³ Малинин В. Старец Елеазарова монастыря Филофей и его послания. Киев, 1901.

⁴ Ambraseys N.N., Finkel C.F. The seismicity of Turkey and adjacent areas. Istanbul, 1995.

¹ Лев Диакон. История. М., 1988.

² См.: История Льва Диакона Калойского. СПб., 1820.

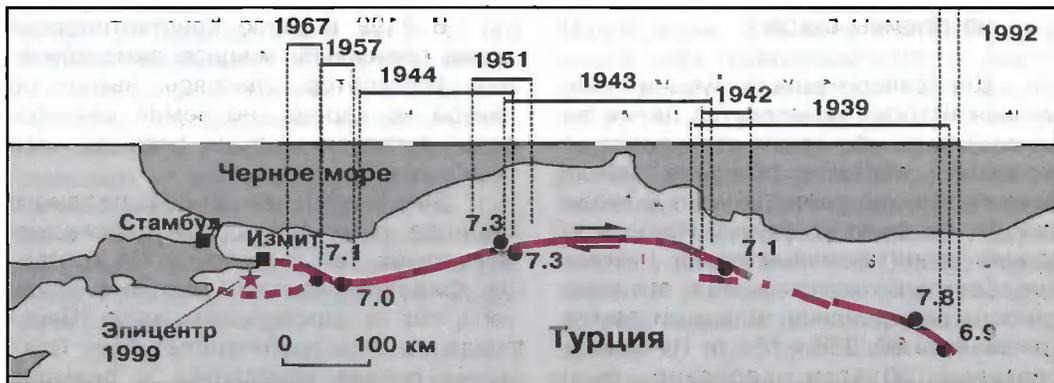


Схема миграции очагов сильнейших землетрясений и сопровождавших их разрывов вдоль Северо-Анатолийского разлома (распространено агентством Рейтер). Цветом показана эпицентральная зона и эпицентр последнего землетрясения 17 августа 1999 г.

10—15 тыс., с учетом сельского населения), а последнее — XX в. — до 40—45 тыс. Объясняется это, вне всякого сомнения, значительно меньшей численностью и плотностью населения в прошлом, но также изъянами современного строительства. Так что землетрясение в 1999 г. на северо-западе Турции — только очередное и не самое сильное в долгом ряду прошедших здесь за 2 тыс. лет сейсмических катастроф. Но повторяются они, если говорить об одной и той же очаговой области (а не о регионе в целом), с частотой около одного сильнейшего события в несколько сотен лет. За такой промежуток времени предыдущая катастрофа прочно забывается.

ЧТО МОЖНО БЫЛО ПРЕДВИДЕТЬ

В 1976 г. сотрудники Балканской миссии ЮНЕСКО оценили возможные сейсмические ускорения (с 70%-й вероятностью) в районе Мраморного моря и Измита не выше $0.35g$ за 200 лет и не выше $0.15g$ за 25 лет, т.е. землетрясения интенсивностью 9 и 8 баллов в эти промежутки времени здесь не ожидалось⁵.

Составленная нашими специалистами в рамках того же Балканского

проекта прогнозная карта зон землетрясений⁶ для района Измитского залива также не предусматривала событий с $M > 7.0$.

10-балльное Измитское землетрясение разразилось, не дождавшись конца 25-летнего срока. Между тем были известны разрушительные (с $M=7.0-7.1$) события в западной части Северо-Анатолийского разлома в 1957 и 1967 гг., продемонстрировавшие распространение разрывов по нему к западу, в сторону Измитского залива.

Начиная с 1979 г. этот участок (и вся зона разлома) рассматривался как потенциально опасный. На карте сейсмического районирования Турции полоса вдоль Северо-Анатолийского разлома отнесена к первой категории опасности, где возможны землетрясения силой более 9 баллов и сейсмические ускорения $0.4-0.6g$. К сожалению, эта карта вышла только в 1993 г., тогда как массовое строительство дешевого жилья началось значительно раньше.

Ослабить последствия катастрофы в данном случае помогло бы не только нормативное строительство, но и обоснованное ожидание сейсмического события такой силы. Речь идет о направленной миграции очагов землетрясений

⁵ Algermissen S.T. et al. Seismic risk evaluation of the Balkan region // Proceed. of the Seminar on Seismic Zoning Map. V.2. Skopje, 1976. P.171—220.

⁶ Shebalin N.V. et al. Earthquake origin zones and distribution of maximum expected seismic intensity for the Balkan region // Ibid. P.68—171.

вдоль разлома. Все началось с сильнейшего в Турции в XX в. Великого Эрзинджанского землетрясения с $M=7.9$ и интенсивностью 11 баллов. Тогда погибло свыше 32 тыс. человек, более 30 тыс. домов было разрушено. Разлом вскрылся на протяжении свыше 300 км с продольным смещением до 7.5 м, ширина трещин в земле местами достигала нескольких метров.

В 1942—1944 гг. разразилось еще три землетрясения с $M=7.1—7.3$. Их эпицентральные зоны также вытягивались широтно, вдоль Северо-Анатолийского разлома. Интенсивность сотрясений достигала 10 баллов, но из-за меньшей населенности местности людские потери составили чуть более 10—11 тыс. человек. В результате этой серии разрушительных толчков разлом вскрылся еще на 450 км, причем каждый раз происходило смещение эпицентрального участка к западу от предыдущего, с правосторонним сдвигом на 1—3 м. А в 1946 и 1992 гг. зона разлома активизировалась восточнее очага 1939 г.

Охарактеризованная миграция очагов считается классическим примером и общеизвестна. Говоря о дальнейшей активизации процесса на западе Турции, некоторые исследователи ссылались на сильные землетрясения 1953, 1964 и 1970 гг. Но последние возникали южнее трассы Северо-Анатолийского разлома, вне прямой связи с ним. Однако и западный отрезок разлома давал о себе знать после 40-х годов весьма сильными событиями. 25 мая 1957 г. 9-балльным землетрясением вспоролся участок западнее г.Болу, а 10 лет спустя сейсмический разрыв при очередном разрушительном 9-балльном землетрясении продвинулся еще далее к западу. Неактивным оставался лишь крайний западный отрезок разлома... у Измитского залива. Здесь формировалась зона сейсмического молчания. В 1997 г. вышла статья американских и турецких исследователей⁷, в которой участок разлома

у Измитского залива рассматривался как кандидат на будущее сильное землетрясение (с $M \geq 6.7$). Но — и в этом трагическая ирония — авторы определили вероятность такого события в последующие 30 лет всего в 12%. Расчеты основывались на перераспределении напряжений вдоль разлома после каждого сильного землетрясения. В который раз природа подтвердила, что она сложнее математики. Но в этом, как и во многих других случаях, не был корректно использован другой путь выработки прогноза — обращение к сведениям исторического характера о происходивших на данной территории разрушительных землетрясениях.

Весьма значимым оказывается тот факт, что на востоке Северо-Анатолийской зоны предыдущее событие⁸ с такой же магнитудой (около 8) разразилось в 1668 г., т.е. за 271 год до Эрзинджанской катастрофы 1939 г. Измитское землетрясение 1719 г. на западном краю возникло спустя 51 год. На вспарывание того же западного плеча зоны в XX в. потребовалось 60 лет. Это наводит на мысль о том, что интервал 270—280 лет отражает цикличность возникновения сильнейших импульсов на восточном фланге дуги Северо-Анатолийской зоны разлома и последующей миграции очагов сильных землетрясений к западу.

ЧТО ДАЛЬШЕ?

В целом, напряжения в земной коре вдоль Северо-Анатолийского разлома теперь сняты, так что вряд ли в XXI в. в этой полосе следует ожидать катастрофических событий. Небольшие отрезки и отвершки, однако, могут продуцировать землетрясения умеренных магнитуд.

Но в перспективе будущего столетия, по-видимому, целесообразно сконцентрировать усилия специалистов на других частях страны. Опасны районы

⁷ Stein R.S., Barka A.A., Dieterich J.H. // Geoph. Journ. International. 1997. V.128. P.594—604.

⁸ Ambraseys N.N., Finkel C.F. Anatolian earthquake of 17 August 1668 // Historical Seismograms and Earthquakes of the World. London, 1988. P.173—180.

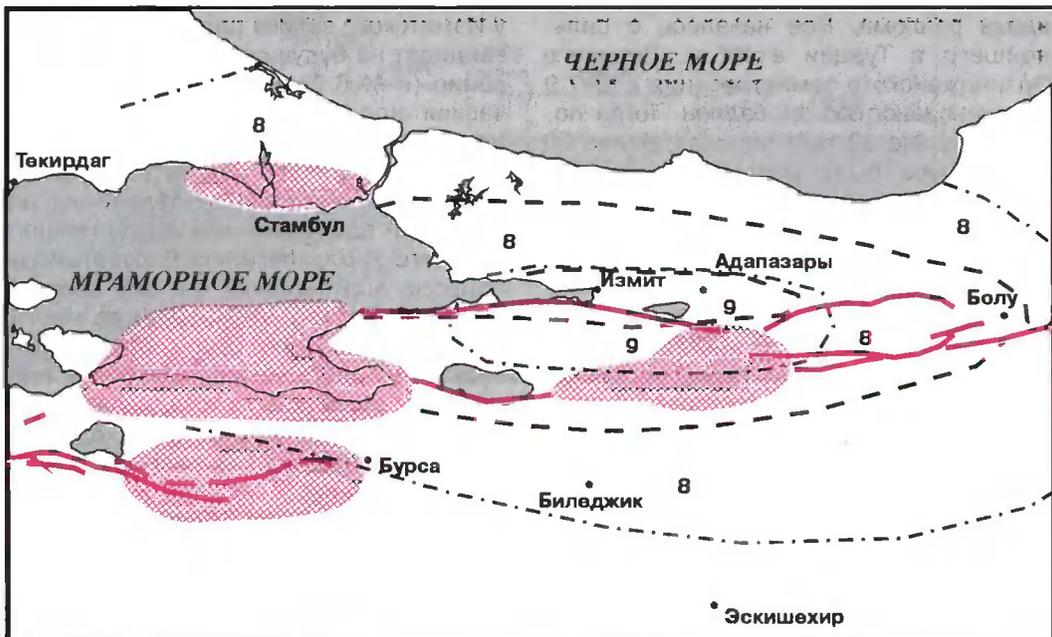


Схема эпицентральных зон двух сильнейших сейсмических событий в районе г.Измит и места (цветные области) вероятного возникновения последующих сильных ($M > 6.5$) землетрясений в районе Мраморного моря. Штриховой линией показаны предполагаемые изосейсты землетрясения 17 августа 1999 г., штрихпунктирной — 1719 г.; цветной линией — основные активные разломы. Составил А.А.Никонов 30 августа 1999 г.

Европейской Турции, ее Средиземноморское побережье, внутренние области. Постоянную угрозу таит юго-восточная часть страны вокруг оз.Ван. Seriously недооценена сейсмическая опасность Черноморского побережья.

В ближайшее время необходимо следить за сейсмической обстановкой в регионе, окружающем эпицентральной области последнего землетрясения. И здесь речь может идти как о месяцах, с одной стороны, так и о годах и даже десятилетиях — с другой.

Сразу после события многих волновал вопрос, не повторится ли вскоре такая же катастрофа. Мнения сейсмологов на этот счет разделились. Часть специалистов полагает, что землетрясение с магнитудой 7.4 не могло реализовать всю накопившуюся энергию и добавочная разрядка неизбежна. Между тем, в первые 20 дней были только сравнительно слабые афтершоки.

Американские эксперты разработали алгоритм, согласно которому на 24

августа 1999 г. вероятность возникновения сильных афтершоков в последующие полгода составляла 60% для событий с $M \geq 6$ и 10% с $M \geq 7$. Ко времени выхода этой публикации в свет уже станет ясно, подтвердит или опровергнет природа очередные статистические расчеты.

Не менее важно попытаться наметить участки возможного возникновения последующих событий. С большей вероятностью следует ожидать афтершоков, в том числе и значительных, на краях вспоровшегося участка, т.е. у г.Ялова на западе и близ оз.Сапандже на востоке.

В первой половине следующего века район возможного возникновения землетрясений скорее всего переместится к западу. Если исходить из структурно-кинематической обстановки (насколько она ныне известна) и сведений о разрушительных землетрясениях прошлого, можно наметить несколько потенциально опасных участков. Во-первых, на западном продолжении Северо-

Анатолийского разлома может активизироваться 100-километровый участок под дном Мраморного моря, между очаговыми зонами землетрясений 1935 и 1999 г. с магнитудами 6.4 и 7.4. Менее вероятно оживление южной ветви разлома (по южному берегу оз.Изник), где два высокомагнитудных землетрясения состоялись в 1855 г. Если этот участок и породит сильные землетрясения, то на южном берегу Мраморного моря или восточнее оз.Изник.

Кандидатом на предстоящее разрывообразование с сильным землетрясением должен считаться и разлом Улубат вблизи г.Бурса, восточнее очага землетрясения 1964 г. с $M=7.0$.

Но самым важным для специального последующего изучения надо считать участок вблизи Босфора, на берегах которого расположен Стамбул с 12-миллионным населением.

Основания для такого изучения есть. Этот район (согласно письменным документам) многократно подвергался сокрушительным землетрясениям. 9—10-балльное событие разразилось в северной части Мраморного моря в 1766 г. Поскольку по Северо-Анатолийскому разлому северный блок устойчиво и постоянно смещается к востоку, на его флангах должны возникать косые сдвиги и отрывы. У западного края Измитского залива такого рода отвершком можно считать прибрежный разлом северо-западного протяжения с очагами сильных землетрясений 1878 и 1894 гг. Не случайным в этом смысле видится и тот факт, что при землетрясении 17 августа 1999 г. прилегающая к Босфору с запада часть побережья Мраморного моря пострадала больше, чем иные промежуточные участки. По-видимому, тут сказалось динамическое взаимодействие двух разнонаправленных разрывов и повышенная напряженность участка разлома, ограничивающего Мраморное море с севера.

Динамическая связь между регионами Босфора и Измитского залива подтверждается также тем, что во время сильнейшего землетрясения 10 сен-

тября 1509 г., разрушившего Стамбул и окрестности, сопряженный разрушительный толчок возник и в Измитском заливе.

Между двумя сильнейшими 9—10-балльными землетрясениями на востоке и севере Мраморного моря 1509 и 1766 гг. прошло 257 лет, а со времени последнего — 233 года. Интервал между самыми высокомагнитудными землетрясениями в Измитском заливе 1719 и 1999 гг. составил 280 лет, а сильнейшее событие на севере произошло спустя 45 лет после первого из них. Если между рассматриваемыми структурами и очагами катастрофических землетрясений существует динамическая связь и последовательность вспарывания, то следующее разрушительное землетрясение в районе Стамбула можно, по-видимому, ожидать в течение 25—50 лет. Вероятность ожидания усилится, если событие не произойдет в ближайшие месяцы—годы.

Сейсмическое событие, взволновавшее все мировое сообщество, жестоко подтверждает все еще не усвоенные сейсмологами уроки. Если ограничиться только научными аспектами, то можно выделить два положения.

1. Проблема распознавания эпицентральных областей будущих (в том числе в обозримом времени) сильных и разрушительных землетрясений требует не просто привлечения исторических данных, но специального разностороннего изучения землетрясений за сотни и тысячи лет.

2. В ряде секторов Альпийско-Гималайского сейсмического пояса существуют крупные разрывные структуры, предопределяющие и контролирующие последовательную миграцию очагов сильнейших землетрясений, которую можно использовать в качестве прогностического признака в долговременном плане.

Работы в обоих направлениях давно начаты (и автор приложил к этому немало усилий), однако они не заняли достойного места в российской сейсмологии.

Токамаки: триумф или поражение?

С.В.Мирнов

*Говорят, говорят, скоро будет термояд,
Будет мирный, будет смирный, управляемый.
Нам об этом термояде говорили в детстве дяди.
Говорят, говорят, скоро будет термояд!
А теперь мы сами дяди, сами то же говорим
И мечтой о термояде все горим, горим, горим...*

Из поздравления И.Е.Тамму в день его 75-летия, народное творчество¹.



Сергей Васильевич Мирнов, доктор физико-математических наук, профессор, начальник отдела экспериментальной физики токамаков Троицкого института инновационных и термоядерных исследований. Область научных интересов — физика управляемого термоядерного синтеза, проблемы термоизоляции и устойчивости плазмы в токамаках. Лауреат Государственной премии (1971). Автор монографии «Физические процессы в плазме токамака» (М., 1983).

ГОРИМ... Да и как не гореть, если точно известно, что в каждом полулитре любой окружающей нас воды заключена потенциальная энергия термоядерного синтеза, эквивалентная энергии сгорания бочки бензина!

Речь идет о двух почти равновероятных реакциях: $D + D = He^3 + n$ и $D + D = T + p$ с выделением в каждом акте синтеза 3.25 либо 4 МэВ энергии (1 МэВ = $1.6 \cdot 10^{-13}$ Дж). Напомним, здесь: p — протон, D — дейтрон, ядро тяжелого изотопа водорода (дейтерия) с одним нейтроном (n) в ядре, а T — тритон, ядро сверхтяжелого (третия) — с двумя.

Образовавшийся тритон вступит в реакцию $D + T = He^4 (3.6 \text{ МэВ}) + n (14 \text{ МэВ})$.

В итоге: $5D \rightarrow He^3 + He^4 + p + 2n + (24.85 \text{ МэВ})$.

Дейтерий составляет одну семитысячную добавку к природному водороду, а потому является практически безграничным источником энергии.

НА БЕРЕГУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Наиболее энергоемкие продукты реакции синтеза — быстрые нейтроны — могут быть использованы в традиционном энергетическом пароводяном цикле («чистый» синтез) или, что значительно эффективней, в цикле деления урана либо тория, для создания глубоко

© С.В.Мирнов

¹ См.: Чирков Ю.Г. Любимое дитя электрохимии. М., 1985.

подкритического, а потому безопасного реактора деления на быстрых нейтронах (гибридный вариант). В таком случае речь пойдет уже о десяти и более бочках бензина... Правда, при этом мы основательно забираемся в область реакторов деления с их традиционными проблемами. Хотя и «чистый» синтез до конца не чист, коль скоро в нем фигурируют нейтроны и тритий, но, по оценкам специалистов, уровень экологических проблем может быть снижен для него в десятки раз по сравнению с энергетикой деления. Его главное преимущество — отсутствие жидких и газообразных радиоактивных отходов. Наведенная активность конструкций может быть существенно уменьшена (если возникнет такая необходимость) применением ванадиевых сплавов. Дабы не терять столь важные преимущества, ограничимся далее темой «чистого» синтеза, реакциями D+D и D+T.

Практическая неисчерпаемость источника энергии придает проблеме управляемого термоядерного синтеза (УТС) некоторую мессианскую окраску «освобождения человечества от энергетической зависимости». Отсюда периодическое возбуждение общественности и громогласные обвинения в адрес официальной науки, которая недопустимо «медлит». (Свежий пример — недавняя шумиха вокруг «холодного синтеза».)

К сожалению, неисчерпаемость энергетического резервуара сама по себе ничего не решает: себестоимость электроэнергии складывается не только из цены горючего, но и из амортизационных расходов, которые сопровождают ее производство. То есть окажись термоядерный реактор чрезмерно дорогим либо с коротким временем эксплуатационной жизни, его не спасет дешевизна горючего. Но, чтобы определить фактическую себестоимость производства энергии, такой реактор нужно сначала создать, затем испытать, устранить или хотя бы выявить его «скрытые дефекты», оценить потенциальные возможности аварий и т.д. Процесс этот, следуя, например, оценкам одного из лидеров УТС — индийского ученого П.Кау,

— при самых благоприятных обстоятельствах займет первую четверть XXI в. и может стоить около 20 млрд амер. долл.

Насколько сегодня, к концу XX в., мир приблизился к созданию реального реактора УТС? Ответить кратко на этот вопрос можно было бы так: найдены эффективные средства нагрева и термоизоляции термоядерного горючего, получены первые шестнадцать мегаватт мощности управляемого синтеза, центр тяжести исследовательских работ практически смещается из области физических в сферу физико-технических проблем. Однако, как и все краткие ответы, такой был бы полуправдой. Почему — автор попытается объяснить ниже на примере развития токамаков — систем, представляющих собой кольцевой газовый разряд, стабилизированный сильным кольцевым (его называют тороидальным) магнитным полем. Сегодня они наиболее уверенно претендуют на роль сердцевин будущего реактора.

ПРЕПЯТСТВИЯ НА ПУТИ

Главное физическое препятствие для синтеза — кулоновские барьеры, затрудняющие сближение ядер на расстояние действия ядерных сил. Преодоление их требует существенного «подогрева горючего». В частности, для DD-реакций примерно до 100 кэВ ($1 \text{ кэВ} \approx 10^7 \text{ К}$), а в DT-случае — вследствие реализации специфического внутриядерного резонанса — только до 10 кэВ.

При столь высоких температурах все вещества оказываются в состоянии полной ионизации, т.е. представляют собой как бы двухкомпонентную жидкость слабо взаимодействующих свободных электронов и ионов, получившую название «высокотемпературная плазма». Хотя эти компоненты обладают противоположной электрической поляризованностью, в целом плазма электронейтральна: плотности электронов и ионов почти равны. Но их температуры могут различаться. Отсюда иногда и деление температуры на ионную (T_i) и электронную (T_e).

В силу относительно низкого энергетического барьера реакция DT-выглядит сегодня наиболее практичной, ее с успехом используют в водородных бомбах, а также в различных нейтронных источниках. Некоторую трудность для энергетических приложений представляет то обстоятельство, что тритий распадается с характерным временем 12 лет, а потому отсутствует в природе. Его получают, облучая нейтронами Li^6 — последнего же, по оценкам, в природе достаточно много. Практически это означает, что реактор DT-синтеза должен быть снабжен дополнительным устройством (оно получило название «бланкет» — «одеяло»), содержащим литий, который, превращаясь под действием нейтронов синтеза в тритий, будет воспроизводить необходимое горючее. Там же попутно энергия нейтронов будет трансформироваться в тепло.

В итоге физической основой DT-реактора становятся две ядерные реакции: $\text{D} + \text{T} \rightarrow \text{He}^4 + \text{n}$ и $\text{Li}^6 + \text{n} \rightarrow \text{T} + \text{He}^4$. Уже беглого взгляда на них достаточно, чтобы усмотреть некоторое противоречие в концепции замкнутого стационарного реактора. А именно: каждому акту синтеза соответствует один нейтрон и, следовательно, один атом нового трития. При его выделении неизбежны потери и нейтронов, и трития. Тогда оказывается, что цикл незамкнут, для замыкания необходимы нейтронные размножители. И хотя человечество накопило солидный опыт (в основном секретный) их создания и эксплуатации, коммерческий реактор, очевидно, требует серьезной адаптации имеющихся решений к новой реальности. Задача тем самым распадается на три: поджиг DT-реакции, поддержание стационарного термоядерного горения (с вводом топлива и удалением образовавшегося He) и воспроизводство горючего.

Очевидно, что для поджига DT-смеси потребует некоторое устройство ее предварительного внешнего нагрева. Обозначим его мощность $P_{\text{вн}}$. Процесс нагрева будет описываться в общем виде простым уравнением:

$$dW/dt = -W/\tau_E + P_{\text{вн}},$$

где W — энергия образовавшейся плазмы, dW/dt — скорость ее изменения, W/τ_E — полная мощность тепловых плазменных потерь, τ_E — характерное время «остывания» плазмы, или, как принято его называть, энергетическое время жизни. Фактически оно несет всю интегральную информацию о плазменных потерях тепла: с горячими частицами, с излучением и т.д. Его не следует путать с длительностью горения, между ними такая же разница, как, скажем, между длительностью жизни среднего римлянина и временем существования Римской империи — τ_E может составлять секунды, а длительность горения — десятки минут. Такое горение называют стационарным. Его условие:

$$W/\tau_E = P_{\text{вн}}.$$

Горение будет выгодно энергетически, если охлаждение плазмы удастся скомпенсировать выделившейся энергией синтеза $P_{\text{яд}}$. Это в принципе возможно, если $P_{\text{яд}}$ превосходит $P_{\text{вн}}$. Отношение $P_{\text{яд}}$ к $P_{\text{вн}}$ (в стационаре — к мощности потерь W/τ_E) обозначают Q .

Забегая вперед, отметим, что 30 октября 1997 г. на токамаке JET (Великобритания) в условиях реального DT-синтеза (смесь 50% дейтерия и 50% трития) был достигнут режим с $Q=1$. Это самое серьезное достижение за всю историю УТС. Но уровень $Q=1$ (breakeven, или режим «перевала») еще маловат для реактора «чистого» синтеза. Очевидно, что преобразование выделившейся энергии в нагрев будет идти с коэффициентом полезного действия, меньшим 1, в лучшем случае — $0.2+0.3$. И для замыкания энергетической цепи (реактор с «нулевым» выходом) требуется выйти на режим с $Q>5$.

Наконец, хорошо бы сконструировать реактор так, чтобы стационарное горение поддерживалось не внешними источниками, а самими продуктами синтеза ($P_{\text{вн}}=0$). Это реализовано, например, в водородной бомбе. В управляемом синтезе мы можем рассчитывать

только на заряженную часть продуктов — α -частицы, поскольку нейтроны «плохо управляемы». Мощность энерговыделения, приходящаяся на α -частицы, составляет $0.2P_{\text{яд}}$. Баланс будет достигнут при $P_{\text{яд}} \approx 5 W/\tau_E (Q=\infty)$.

Диапазон оптимальных температур ионов (T_i) для DT-синтеза — от 5 до 15 кэВ. В этом интервале мощность $P_{\text{яд}}$ пропорциональна $n^2 T_i^2 V \sim \rho^2 V$, где $n = n_D = n_T$ — средние плотности дейтерия и трития, V — объем, а ρ — давление плазмы. Выход за указанный интервал температур при фиксированном энерговыделении реактора неминуемо ведет к росту ρ . Энергозатраты же, как показал опыт, прогрессивно растут именно с ρ . Учитывая, что $W \sim nTV (T = T_i \cong T_e)$, легко найти условие самоподдерживающегося DT-синтеза, получившее название универсального или модернизированного критерия Лоусона:

$$nT\tau_E = C \quad (C = 5 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3} \cdot \text{кэВ} \cdot \text{с}, \text{ если } n \text{ измеряется в } \text{м}^{-3}, T \text{ в кэВ}, \tau_E \text{ в с}).$$

Отсюда видны два альтернативных пути — сжатие до высоких плотностей при малых τ_E (водородные бомбы) либо нагрев плазмы при малых плотностях и высоких τ_E (плазменные ловушки).

БОМБЫ И МИКРОВЗРЫВЫ

Достижения первого, инерционного, направления общеизвестны. 1 ноября 1952 г. на атолле Эниветок в Тихом океане ученые США с помощью атомной бомбы подорвали огромный объем (50 т) жидкого дейтерия и трития, получив при этом взрыв ранее невиданной мощности, эквивалентный взрыву 500 бомб, сброшенных на Хиросиму и Нагасаки. Таким образом было отмечено вступление человечества в термоядерную эру.

Очевидный недостаток этого и всех последующих термоядерных взрывов — сверхмощное, неуправляемое выделение энергии с использованием в качестве поджигателя (или, как говорят сегодня, драйвера) атомного взрыва. Основные исследования в области уп-

равляемого инерционного синтеза — лабораторного аналога бомбы — сосредоточились на поиске менее разрушительного и более дешевого драйвера. Суть в том, что сжатие горючего необходимо осуществлять быстро (10—30 нс) и предельно равномерно, чтобы по возможности задержать развитие релей—тейлоровской неустойчивости. На сегодня наиболее популярный драйвер — лазерное излучение². Из расчетов и некоторых экспериментов известно, что поджиг ($Q=100$) лабораторных DT-микробомб может быть реализован, если им удастся передать энергию излучения масштаба 10 МДж. Лучшие сегодняшние эксперименты с лазерным драйвером находятся на границе 100—150 кДж. Планируемый в США на ближайшее пятилетие³ грандиозный проект по лазерному сжатию (NIF) предполагает поднять эту величину на порядок — до уровня 1.5 МДж ($Q=10$), что обойдется примерно в 1.2 млрд долл. Если считать стоимость пропорциональной подводимой энергии, необходимый для УТС лазерный поджиг можно оценить примерно в 10 млрд долл. — цена чуть не десяти атомных субмарин! И тем не менее рано или поздно эти деньги могут быть выделены. Сегодня уже не принято скрывать, что основная цель исследований по лазерному УТС — уточнение механизма «работы» водородного оружия, а отнюдь не создание энергетического реактора. Очевидно, что на эти цели средства есть и будут, поэтому на перспективы лазерного синтеза можно смотреть с оптимизмом.

Что происходит в области плазменных ловушек, ориентированных на реактор?

В наиболее распространенных из них горячую плазму удерживают от разлета и охлаждения с помощью магнитных полей. Последние должны создаваться сверхпроводниками, требующими на свое обслуживание сравнительно

² Дюдерштадт Дж., Мюзес Г. Инерциальный термоядерный синтез. М., 1984.

³ Lawer A. // Science. 1997. V.275. P.1253.

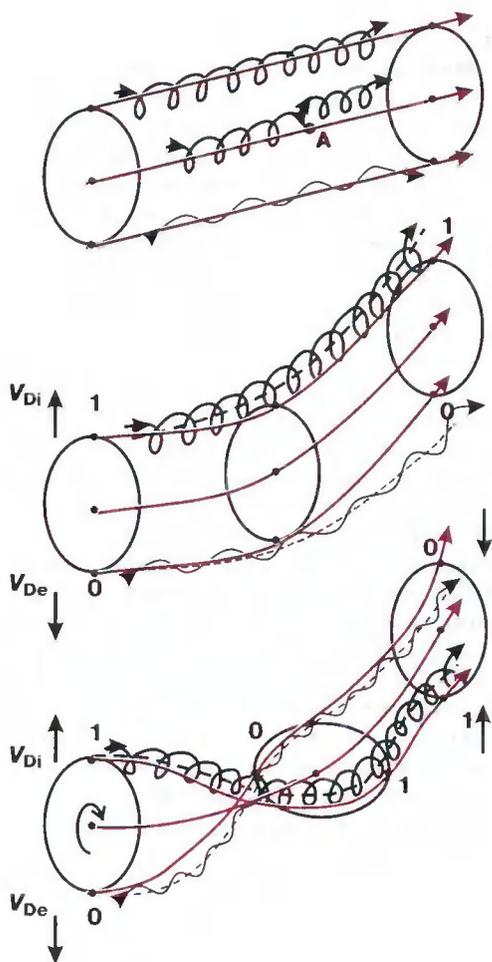


Рис. 1. Схематическое изображение движения заряженных частиц (траектории ионов даны жирными линиями, электронов — тонкими) в магнитных полях различной конфигурации (силовые линии магнитного поля показаны цветом).

Вверху — в цилиндрической магнитной трубке. Событие А — столкновение иона водорода с тяжелым ионом примесей (черный кружок). В результате столкновения орбита иона смещается поперек магнитного поля примерно на радиус Лармора. Заметим, что ларморовский радиус ионов существенно превышает электронный.

В середине — в изогнутой (тороидальной) магнитной трубке. Пунктир — траектории центров ларморовских кружков. $V_{De,1}$ — дрейфовые скорости электронов и ионов. Тороидальный дрейф уводит частицы из шнура.

Внизу — в той же трубке, но с вращательным преобразованием (стелларатор). Ранее уходившие из шнура частицы могут, напротив, оказаться в центре.

небольшое энергообеспечение. Иначе вся энергия уходила бы на поддержание магнитного поля (проще говоря — в тепло). Предельное давление плазмы в итоге ограничивается максимальной магнитной индукцией существующих сверхпроводников (10–15 Т). Тем самым ограничивается и предельное давление плазмы. Это означает, что для достижения поджига необходимо всемерно увеличивать τ_E — совершенствовать плазменную термоизоляцию.

МАГНИТНЫЕ ЛОВУШКИ

Идея магнитной термоизоляции горячей плазмы от стенок реактора,

предложенная независимо А. Д. Сахаровым, И. Е. Таммом в СССР и Л. Спитценом в США, в принципе проста: магнитное поле обзавается ограничивать поперечный разлет заряженных частиц из зоны реакции. Являясь переносчиками электрического тока поперек магнитного поля, они под действием силы Лоренца должны закручиваться вокруг магнитных силовых линий в спирали (рис. 1, вверху) с характерным поперечным размером — «ларморовским радиусом» — $r_n \sim V_{\perp}/B$, где V_{\perp} — поперечная скорость частицы, а B — величина (индукция) продольного магнитного поля. В условиях типичных магнитных полей характерные r_n для ионов термо-

ядерного диапазона температур составляют примерно 0.5—0.3 см.

Пока магнитная силовая линия не искривлена, заряженная частица может покинуть ее лишь в результате столкновений, смещаясь поперек магнитного поля всякий раз не более чем на r_n (событие А на рис.1, вверху). Тем самым характерная длина свободного пробега таких частиц (для типичных термоядерных условий 3—10 км) заменяется в поперечном направлении на величину порядка 1 см, что радикальным образом подавляет их поперечный перенос. Правда, так будет лишь до тех пор, пока давление плазмы не превысит давления магнитного поля. Если это произойдет, магнитное поле может быть «снесено» плазменным потоком. (Как случается, например, когда солнечная плазма — результат вспышек нашего природного термоядерного реактора — врывается в магнитное поле Земли, вызывая магнитные бури.) Отношение давления плазмы к давлению магнитного поля обозначают параметром β . Он не может превышать 1 (реально же заметно ниже).

Но магнитное поле сдерживает только поперечное перемещение заряженных частиц. Их движение вдоль поля ограничено лишь столкновениями, т.е. практически свободно. Ограничение продольного движения, «запирание» торцов — ключевой элемент всех магнитных ловушек. Например, нужного эффекта можно достичь, создавая на пути частиц магнитный барьер — область с повышенным магнитным полем, что предложили параллельно Г.И.Будкер (СССР) и Р.Пост (США). Если пренебречь столкновениями, магнитный поток внутри ларморовской спирали должен сохраняться («первый магнитный инвариант»), но при этом должна сохраняться и полная энергия частиц. Одновременное выполнение этих двух требований приводит к тому, что существенная доля заряженных частиц отражается от магнитного барьера, как от зеркала, а некоторые все же преодолевают его, оказавшись в пределах так называемого «конуса потерь». Зеркальные ловушки были очень популярны у нас и за

рубежом в начале шестидесятых, но сегодня почти сошли на нет. Дело в том, что акт синтеза происходит почти в сто раз реже, чем кулоновские столкновения между теми же частицами. В итоге высока вероятность того, что задолго до слияния частицы попадут в «конус потерь», преодолеть магнитный барьер и уйдут из ловушки. Сегодня такие системы сохранились лишь в Японии и у нас в Новосибирске. Изучается возможность дополнительного запирания торцов электрическими полями. На этом пути есть обнадеживающие результаты; не исключено, что такие ловушки ждет серьезное будущее.

Другой способ устранить торцы — замкнуть магнитное поле в кольцо (тор). Если r_n много меньше поперечного радиуса кольца a , движение частиц поперек поля примет характер диффузионного с длиной свободного пробега r_n . То есть, увеличивая a , можно на первый взгляд получить любое время жизни захваченных частиц, пока этот процесс не выйдет за рамки технически разумного. Но к сожалению, в чисто кольцевом магнитном поле заряженные частицы подстерегает другая опасность — они могут быстро выйти на стенку и без столкновений. Законы электромагнетизма предписывают тороидальному магнитному полю B_T спадать обратно пропорционально его радиусу кривизны R . В итоге траектория ларморовского вращения искривляется, возникает прецессия поперек B_T и R . Результатом этого становится хотя и сравнительно медленный ($V_{\perp} \cdot r_n / R$), но вполне заметный вертикальный уход электронов и ионов из ловушки (тороидальный дрейф, рис.1, в середине).

В 1950 г. А.Д.Сахаров и И.Е.Тамм предложили замкнуть это движение внутри плазменного объема, пустив вдоль тора дополнительный электрический ток. Отсюда и пошли токамаки. Композиция сильного тороидального магнитного поля B_T и перпендикулярно ему более слабого (полоидального) поля тока B_p создает внутри плазмы некоторую винтовую конструкцию магнитных силовых линий, навивающихся на

тор. Каждая из этих линий, если не замыкается после нескольких обходов сама на себя, описывает в пространстве своеобразную псевдоповерхность («магнитную поверхность»), к которой оказывается привязано движение заряженных частиц. Перемещаясь вдоль тора, они попеременно оказываются то в верхней, то в нижней части шнура. Тороидальный дрейф при этом становится знакопеременным по отношению к продольному движению частицы, проявляясь при обходе вдоль тора лишь в небольших поперечных смещениях ее траектории относительно магнитной поверхности.

Другая идея — заставить заряженные частицы навиваться на тор с помощью одних только внешних магнитных обмоток — принадлежит Спитцеру. Он предложил деформировать поперечное сечение плазменного шнура (например, в эллипс) и вращать его по винту вдоль тора, осуществляя тем самым так называемое «вращательное преобразование». Тороидальный дрейф частицы оказывается при этом также скомпенсирован. Подобные системы получили название «стеллараторы» (рис.1, в низу). К сожалению, технологические сложности, с одной стороны, и явный успех токамаков — с другой, замедлили их развитие. Сегодня они серьезно исследуются в Японии и Германии и пока отстают от токамаков, но, как и открытые ловушки, имеют вполне отчетливые перспективы.

Наконец, существует третий, на первый взгляд самый простой способ компенсации тороидального дрейфа — быстрое вращение шнура вокруг продольной (тороидальной) оси. Это можно сделать, создав в плазме радиальное электрическое поле между ее центром и краем. Такая идея исходила от Будкера и обсуждалась еще в начале 50-х. Но как его создать? Оно может стать следствием разного поперечного переноса электронов и ионов. Сегодня, когда освоена инжекция в плазму быстрых (до 160 кэВ) и сверхбыстрых (до 500 кэВ) дейтонов, идея управляющих радиальных электрических полей стала

реальностью. В этом направлении есть первые экспериментальные успехи. На что можно рассчитывать? Во всяком случае на удвоение или даже утроение τ_E . Уже сегодня экспериментаторы на токамаках умеют увеличивать его на небольшое время — примерно вдвое. Удастся это благодаря образованию так называемых термобарьеров — узких зон с повышенной термоизоляцией. Связь их с радиальными электрическими полями (точнее, с градиентами поля) сегодня полностью установлена. Получение термобарьеров — пока еще искусство. Но не исключено, что через два-три года работы оно превратится в рутинную операцию. В термоядерных исследованиях так происходило неоднократно.

Удивительно, но похожая ситуация почти одновременно была обнаружена и в стеллараторах. Если вспомнить открытые ловушки, где торцы «запирают» продольными электрическими полями, приходится констатировать, что магнитная термоизоляция во всех практически интересных случаях тесно переплетена с явлениями электростатической природы. Их активное освоение и рациональное использование, вероятно, станут главным полем деятельности ученых-термоядерщиков начала XXI в.

Что же происходит сегодня? Наиболее результативными из ловушек оказались токамаки.

ТОКАМАК — ЧЕМПИОН

Осенью 1969 г. в Дубне на Международном совещании по замкнутым ловушкам произошло событие, объявленное зарубежными журналистами ни много ни мало, как «признание Западом лидирующей роли советского токамака в исследованиях по управляемому синтезу». История эта многократно описана и уже обросла легендами. Суть ее состояла в том, что весной того же года к нам на токамак Т-3А (рис.2) в Институт атомной энергии им.И.В. Курчатова прибыла группа английских физиков и инженеров с несколькими тоннами научной аппаратуры, чтобы

Рис. 2. Токамак Т-3А в 1968 г. Л.А.Арцимович обсуждает с сотрудниками последние результаты. (Слева направо — В.С.Мухоматов, С.В.Мирнов, Л.А.Арцимович, В.С.Стрелков.)



методом лазерного зондирования проверить наши диамагнитные измерения электронной температуры, которая по их представлению получилась у нас «завирально» высокой! Акция эта явилась результатом устной договоренности между научным руководителем работ по токамакам академиком Л.А.Арцимовичем и директором Калэмской лаборатории доктором Р.Пизом — событие, незаурядное даже по современным меркам.

К осени, с честью преодолев различные трудности, совместная советско-английская группа успешно провела лазерные измерения и, как потом было объявлено в газетах, «получила результаты даже более высокие, чем сообщалось русскими». (Мы измеряли среднюю величину температуры по диамагнетизму плазмы, а лазер давал локальную электронную. Реальное совпадение оказалось «глубоко в классе точности».)

Столь скорое и убедительное доказательство достижения в токамаках электронной температуры масштаба 1 кэВ оказалось для западных ученых сенсацией.

Второй, хотя и менее яркой, сенсацией, представленной там же, стали наши измерения ионной температуры в токамаке тремя независимыми методами. Температура, как и следовало ожидать для плазмы, где ионы нагреваются от электронов, оказалась несколько ниже (0.3 кэВ) электронной, но раза в три выше, чем во всех существовавших тогда магнитных ловушках. В ходе этих опытов (на дейтерии) были зарегистрированы пусть еще редкие, но уже первые термоядерные нейтроны — свидетельство DD-синтеза.

После Дубнинской конференции США свернули свою стеллараторную программу. Самый большой в мире стелларатор С был быстро переделан в токамак ST. И уже через год на нем были почти повторены результаты Т-3А. Началась «токамачная» гонка.

Следующий наш ход — токамак Т-4 (1971) — позволил поднять ионную температуру уже до 0.7—0.8 кэВ, а электронную почти до 3 кэВ. Это удалось сделать за счет увеличения тороидального магнитного поля и более рационального использования обнаруженных незадолго до

этого «окон устойчивости» токамака. Нейтронные счетчики из режима регистрации отдельных импульсов перешли в сплошной «поточковый режим». «По нейтронам» стало возможным исследовать динамику ионной температуры в ходе разряда. Их термоядерная природа уже ни у кого не вызывала сомнений. Это имело важный психологический резонанс. Дело в том, что предшествующие 15 лет термоядерных исследований были наполнены эпизодами драматических заблуждений именно по поводу природы наблюдаемых нейтронов. Время от времени из разных мест газеты приносили известия о «зажигании термоядерного солнца». Но при ближайшем рассмотрении оказывалось, что наблюдаемые единичные нейтроны имели отнюдь не термоядерную природу, а либо порождались дейтонами и тритонами, ускоренными электрическими полями, иногда возникающими при развитии плазменных неустойчивостей, либо были просто на уровне космического фона. Накал страстей был столь велик, что тема однажды переключалась в кинематограф («Девять дней одного года»), где герой погибал, облучившись этими самыми единичными «нетермоядерными» нейтронами. На фоне таких переживаний уверенная регистрация «настоящих» термоядерных нейтронов, строго следующих за температурой плазмы, — по существу наблюдение квазистационарной термоядерной реакции — подвела итог эпохе романтизма в УТС. На волне всеобщего воодушевления «авторы» этого события во главе с Арцимовичем в 1971 г. получили Государственную премию (Л.А.Арцимович, В.Д.Шафранов, В.С.Стрелков, Д.П.Иванов, К.А.Разумова, В.С.Муховатов, Е.П.Горбунов, С.В.Мирнов, А.К.Спиридонов, А.М.Ус, М.П.Петров, Н.А.Моносзон), а токамаки — мощную рекламу. Скепсис по отношению к ним сменился восторгом и ощущением легкой победы. Процесс их строительства за рубежом (всего было создано более 100 токамаков) принял обвальный характер.

А причины для скепсиса были, и весьма серьезные. Сегодня они снова обсуждаются на разных уровнях, вплоть до американского Конгресса.

ЛОЖКА ДЕГТЯ, И НЕ ОДНА

Первый, самый очевидный недостаток токамаков — необходимость поддержания тока, текущего по плазме вдоль магнитного поля. Чтобы это происходило, на обходе тора нужно иметь пусть небольшое (0.1—0.3 В), но постоянное электрическое напряжение. В современных импульсных (квазистационарных) установках его получают с помощью обычного трансформатора с железным сердечником или без. Функциональная схема токамака представлена на рис.3. Она напоминает известную из учебников схему импульсного электронного ускорителя — бетатрона. То же вихревое электрическое поле, создаваемое трансформатором, кольцевой ток электронов (I_n), вертикальное магнитное поле равновесия (B_z), удерживающее токовое кольцо от расширения, и — дополнительно к бетатрону — тороидальное магнитное поле (B_t), необходимое для удержания и стабилизации плазмы. Главное отличие от бетатрона: камера из тонкой гофрированной нержавеющей стали перед импульсом заполняется газом — водородом или его изотопами.

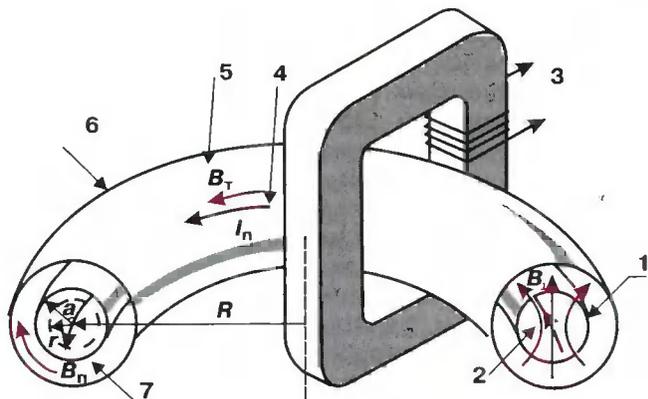
Первой включается обмотка медленного тороидального поля. Затем следует импульс электрического поля, создаваемый обычно разрядом конденсаторных батарей на первичную обмотку трансформатора. Он зажигает кольцевой разряд, происходит ионизация газа и образование плазмы. Ток, текущий по плазме вдоль поля, нагревает ее, и компенсирует тороидальный дрейф. Поле равновесия (оно существенно меньше, чем в бетатроне) удерживает плазму с током от расталкивания. Ток, как в бетатроне, переносится направленным потоком электронов. Рассеиваясь на ионах, они быстро нагревают основную массу электронов плазмы, и уже эти горячие электроны, сталкиваясь с ионами, нагревают их. Путь не близкий. В современных токамаках широко используют дополнительный нагрев плазмы: ионный циклотронный, электронный, с помощью мощных пучков

Рис. 3. Принципиальная схема токамака.

1 — тороидальный плазменный токовый виток с малым радиусом a , большим — R , удерживаемый от расширения поперечным (управляющим) магнитным полем B_{\perp} (2).

3 — индуктор — трансформатор для создания плазменного тока I_p (4).

5 — тороидальное магнитное поле B_T , создаваемое магнитными катушками, расположенными снаружи вакуумной камеры (6). B_{\parallel} (7) — магнитное поле тока. Суперпозиция этих магнитных полей создает внутри шнура набор вложенных магнитных поверхностей. Сечение одной из них радиуса r показано штриховой линией.



нейтральных атомов и т.д. В итоге наиболее интересующая нас ионная температура достигает в современных больших токамаках сверхзвездных значений — до 40 кэВ (в центре Солнца только 1.4 кэВ!). DT- и даже DD-плазма становится мощным источником термоядерных реакций, нечто вроде квазистационарно действующей нейтронной бомбы. При этом, однако, длительность тока, т.е. предельная длительность импульса горения, определяется магнитной индукцией центрального трансформатора, которая, как известно, ограничена. Сегодня длительность импульса — 15—30 с. В принципе, существуют методы безындукционного поддержания тока, например пучками ускоренных ионов. Их образуют, инжектируя в тор по касательной те же потоки быстрых нейтральных атомов. Ионизуясь либо перезаряжаясь в плазме, они превращаются в быстрые ионы и помимо нагрева плазмы могут создавать макроскопический ионный ток. В другом варианте бегущее вдоль тора электромагнитное поле захватывает электроны и создает электронный ток увлечения. Оба способа продемонстрированы экспериментально. Небольшой токамак «Триам» (Япония) может работать непрерывно в течение полутора часов! Однако все существующие методы по тем или иным ограничениям пока не годятся для реактора. В частности

поэтому для завершающего шага к зажиганию, который предполагается осуществить в международном проекте токамака-реактора ИТЭР, был выбран индукционный метод поддержания тока с длительностью импульса 1000 с, хотя эксперименты по неиндуктивному поддержанию тока также внесены в его исследовательскую программу. Во всяком случае с рождения и по сей день токамак прочно ассоциируется с трансформатором, вторичная обмотка которого — плазменный виток, и с омическим током, текущим вдоль поля. Иначе говоря, пока токамаки не обеспечивают стационарность. А это для реактора серьезный минус, который ощущался уже первооткрывателями.

Второй потенциальный минус, связанный с протеканием тока, — неустойчивости. Направленный поток электронов, ускоряемых в плазме электрическим полем, принципиально неустойчив: кулоновское трение частиц спадает, как известно, по мере роста их энергии. Это означает, что на «хвосте» максвелловского распределения всегда будут существовать энергичные электроны, для которых ускорение между соударениями окажется выше, чем торможение, как это предсказывал Г.Драйсер (США). В итоге вместо того, чтобы нагревать плазму, ток электронов превратится в релятивистский пучок, для удержания

которого потребуется увеличить B_{\perp} до такой величины ($\approx B_n/2$), когда оно уже способно серьезно разрушить магнитные поверхности и соответственно условия удержания плазмы. Удивительно, но это предсказание и сбылось, и не сбылось. Существуют такие режимы разряда (малая плотность, большое число примесей и т.д.), при которых почти весь разрядный ток в токамаке переносится быстрыми электронами. Токамак превращается в сверхбетатрон с токами порядка нескольких мегаампер на фоне холодной плазмы. Эти его качества пока не нашли применения и, безусловно, оказываются нежелательными в реакторных приложениях. Замечено, что достаточно небольшого магнитного возмущения (например, локальной гофрировки поля B_T), чтобы подавить ускорение электронов и перевести токамак в «нормальный» режим плазменного нагрева. Это наводит на мысль, что причина электронного торможения — какая-то плазменная микротурбулентность, инициируемая, например, неоднородностями магнитного поля. Возникает парадоксальная ситуация: «нормальные» режимы токамака оказываются следствием развития некоторой плазменной микронеустойчивости.

Наконец, заранее можно было предположить, как это сделали независимо В.Д.Шафранов (СССР) и М.Крускал (США), что кольцевой виток с током окажется неустойчивым, если результирующая магнитная силовая линия, проходя вдоль тора, замкнется сама на себя после одного оборота. Действительно, в этом случае магнитная поверхность из плотно намотанного клубка превращается в кучку замкнутых колечек и плазме ничего не стоит, почти не возмущая магнитного поля, «выскользнуть» наружу. Геометрию магнитных силовых линий в токамаке принято описывать параметром q , так называемым запасом устойчивости:

$$q(r) = B_T r / B_n R,$$

где r — малый радиус, на котором находится силовая линия (рис.3). Пара-

метр этот допускает простое физическое толкование: целочисленные q означают, сколько оборотов вдоль тора требуется сделать магнитной силовой линии до замыкания самой на себя. Тогда условие устойчивости токового витка в магнитном поле B_T (критерий Шафранова—Крускала) можно записать как $q(a) > 1$, где a — радиус токового шнура, т.е. той магнитной поверхности, вне которой плазменного тока уже нет. Фактически это условие накладывает ограничения на плазменный ток.

Реальность оказалась еще мрачнее. В конце 60-х выяснилось, что опасны не только замыкания силовых линий после одного обхода тора, но и после двух, трех и даже четырех обходов. Их называли резонансными. Было установлено экспериментально⁴, что макроскопически устойчивое состояние шнура уверенно реализуется в своеобразных «окнах устойчивости» между целочисленными значениями $q(a)$. Например, рабочая область $q(a)$ для ИТЭРа выбрана от трех до четырех. Причина этого в том, что как только силовая линия с целочисленным q оказывается вблизи границы плазмы, граница становится неустойчивой относительно винтовых возмущений, совпадающих с ходом магнитной силовой линии⁵. Возмущения границы легко проникают в центр и могут дестабилизировать внутренние более низкие резонансы⁶. Если это произойдет, может начаться «перемешивание» плазмы внутри шнура. Плотность тока, обычно следующая за температурой, а за ней и $q(r)$ будут стремиться выровняться по сечению шнура. В итоге все магнитные силовые линии на краю и в центре окажутся топологически идентичными. Для целочисленных q становится возможным почти беспрепятственное движение поперек плазменного шнура резонансных винтовых возмущений, которым уже не требуется пересекать, а достаточно

⁴ Мирнов С.В., Семенов И.Б. // Журн. эксперим. и теорет. физики. 1971. Т.60. С.2105.

⁵ Шафранов В.Д. // Журн. техн. физики. 1970. Т.40. Вып.2. С.241.

⁶ Furth H. Propagation and instabilities in plasma. Stanford, 1973.

«раздвигать» магнитные силовые линии. А это очень опасно. Б.Б.Кадоццев и О.П.Погуце показали, что в таком случае энергетически выгодно формирование на границе и свободный прорыв в центр «вакуумных пузырей» — винтовых жгутов, заполненных холодной граничной плазмой. В итоге произойдет стремительное вытеснение горячей плазмы на границу шнура, очень похожее на его «выворачивание наизнанку». Явление это вначале было обнаружено экспериментально⁷, получив название «большой срыв». Оно дало мощный стимул экспериментальным и теоретическим исследованиям плазменных неустойчивостей, тем более что сопровождающее его проникновение в плазму примесей (продуктов испарения стенок) приводит к ее охлаждению и гашению разряда (срыву тока) — к явлению, недопустимому в условиях реактора. Правда, развитие столь глубоких резонансов граница—центр редки. Обычно все завершается вспышками у границы (малый срыв), похожими на протуберанцы у нашего солнечного реактора.

К развитию ближайших к границе резонансов ведет любое охлаждение плазменной периферии: инжекция примесей, напуск холодного газа и т.д. В частности, увеличение плотности плазмы в токамаках сопровождается ростом ее излучения. В итоге шнур сужается, ближайший резонанс оказывается у новой границы, и в результате развивается та же вспышка резонансных возмущений с последующим срывом. Тем самым на плотность плазмы в токамаке накладывается ограничение сверху. Фактически и ток, и плотность ограничиваются одним механизмом. В реакторе-токамаке, как показывают оценки, предел плотности должен быть около $(1-2) \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$, а максимальное B_n — около $0.1 B_T$. Тогда минимальное τ_E для зажигания, по Лоусону, должно составить 3—6 с. Какого размера должен быть реактор, отвечающий этому требованию? Малый радиус сахаровской

модели (1950) был около 2 м. Ирония природы, но через 45 лет мощный интернациональный коллектив ученых (Проект ИТЭР), владеющий всей интегральной информацией, касающейся плазменного эксперимента в больших токамаках, после семи лет напряженной работы остановился почти на той же цифре — 2.8 м, но уже не на DD-, а на DT-смеси!

Путь к пониманию механизма термоизоляции плазмы в замкнутых магнитных ловушках был долг. Первая критика прозвучала от Будкера еще в 1952 г. Его анализ показал, что в торе заряженные частицы обязаны отклоняться от магнитных поверхностей на несколько ларморовских радиусов. А значит, столкновения будут перемещать их поперек поля на расстояния, существенно большие, чем предполагалось сначала. В итоге термоизоляция плазмы ухудшится более чем на порядок.

Будкер впервые обратил внимание и на то, что заряженная частица, двигаясь по спирали вдоль тора, попеременно попадает то в область большего (внутри), то меньшего (снаружи) тороидального магнитного поля. В результате для некоторой группы частиц («запертых» частиц) возникает аналог зеркальной ловушки с отражением на внутреннем обводе тора. Траектории таких частиц, не пересекающих ось плазмы, должны еще более отклоняться от магнитных поверхностей.

Эти конструктивные идеи Будкера оказались долгое время не востребованными. Только в 1965 г. два тогда еще молодых физика-экспериментатора М.П.Петров и В.С.Муховатов, пытаются понять анизотропию корпускулярных потоков из плазмы токамака Т-3 (Курчатовский институт), вынуждены были вернуться к будкеровской модели, о чем, разумеется, поставили в известность начальника. Начальник (Арцимович) чуть ли не за ночь, написав все формулы движения «запертых» и «пролетных» частиц, убедился сам в справедливости их доводов и не преминул сообщить об этом Будкеру. Тот «бросил» на задачу своих лучших теоретиков — Р.З.Сагдее-

⁷ Горбунов Е.П., Разумова К.А. // Атом. энергия. 1963. Т.15. Вып.5. С.363.

ва и А.А.Галеева, которые также «в исторически кратчайшие сроки» создали «столкновительную» модель переноса плазмы в токамаках с учетом «запертых» частиц (неоклассическая модель). В качестве одного из ключевых элементов она вошла позднее в более общую «Теорию термоядерной тороидальной плазмы» (Б.Б.Кадомцев, В.Д.Шафранов О.П.Погуце, Р.З.Сагдеев, А.А.Галеев, Л.А.Коврижных. Ленинская премия 1984 г.), ставшую фундаментальным вкладом нашей теоретической плазменной школы, основы которой были заложены, как известно, еще академиком М.А.Леонтовичем.

Теоретическая активность в области неоклассики была с энтузиазмом поддержана зарубежными учеными. Объединенными усилиями удалось осуществить исключительно важное для любой науки разделение новых явлений на «нормальные» и «аномальные». По-пути были заложены основы последу-

ющего международного сотрудничества в области создания токамака-реактора. В частности, почти «нормальным» оказался ионный теплоперенос и аномально высоким — электронный. Тем не менее оценки размеров токамака-реактора оказались вполне разумными, укладывающимися в рамки современной техники. Но это был уже конец 70-х. А в начале 50-х идея создания квазистационарной плазмы в торе с током многим казалась безнадежной. «Это так же наивно, как пытаться получить папиросную бумагу из папиросного дыма», — слова, принадлежащие не кому-нибудь, а самому Арцимовичу, тогдашнему Арцимовичу, начала 50-х. Но в будущем Курчатовском институте (он назывался тогда в целях конспирации «Лаборатория измерительных приборов Академии наук») нашлись-таки храбрые люди, которые приступили к экспериментам.

(Окончание в следующем номере)

КОРОТКО

В течение 20 лет Х.М.Калафорра Чорди (J.M.Calaforra Chordi; Университет Альмерии, Испания) и П.Форти (P.Forti; Болонский университет, Италия) исследовали гипсовые пещеры, расположенные в районах с очень разным климатом: в Аргентине, Италии, Испании, Кубе, штате Нью-Мехико (США) и на севере России. Установлено, что в

аридных и полуаридных условиях формы нарастания — так называемые спелеотемы (speleothems) — состоят в основном из гипса, а в умеренных гумидных и тропических преобладают карбонатные образования. Механизмы формирования спелеотем в разных климатических условиях отличны друг от друга: кальцитовые образуются путем диффузии

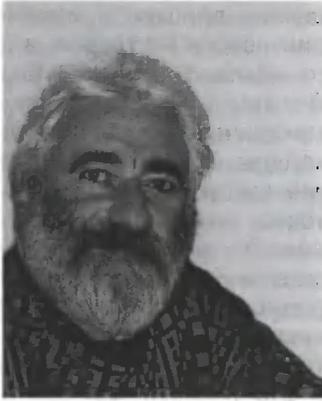
CO₂, а осадки гипса — путем эвапорации. Если в разрезе преобладание кальцита меняется на преобладание гипса (или наоборот), есть основания предполагать, что на определенном этапе климат существенно изменился.

Abstracts of XV INQUA Congress. Durban, 3—11 August 1999. P.35 (ЮАР).



Много ли мы знаем о сердце?

Ф.А.Бляхман



Феликс Абрамович Бляхман, доктор биологических наук, профессор, руководитель отдела биофизики Уральского государственного университета им.А.М.Горького. Область научных интересов — физиология, биофизика сердца.

НА ПЕРВЫЙ взгляд кажется, что ответить на этот вопрос можно утвердительно, поскольку на протяжении нескольких столетий сердце было объектом пристального внимания исследователей. В настоящее время существует много прямо или косвенно связанных с изучением сердца самостоятельных отраслей знаний: например, электрофизиология сердца — наука об электрических явлениях в сердце, гемодинамика — наука о законах движения крови в сердце и сосудах и т.д. Этот список легко продолжить. Современные методы и технологии позволили получить данные о структуре и функции сердечной ткани на уровне белков, молекул и даже химических элементов. Естественно, результаты фундаментальных исследований находят применение в диагностике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний, разработке новых лекарственных препаратов. Благодаря этому наметился прогресс в борьбе с такими заболеваниями, что в целом свидетельствует о глубине наших знаний в области кардиологии. Однако порой складывается впечатление, что мы практически ничего не знаем о сердце, потому что, казалось бы, простые вопросы могут привести в замешательство. Вот один из них. Хорошо известно, что сердце — это своего рода насос. Сердечная мышца (миокард) обладает уникальным биологическим свойством сокращаться, т.е. преобразовывать энергию химических реакций в механическую работу. Спрашивается, почему форма наиболее производительной насосной камеры сердца, левого желудочка, далека от геометрически правильной фигуры — шара? Ведь с точки зрения физики, именно такой формы насос способен даже при небольшом и равномерном усилии, направленном на изме-

нение внутреннего радиуса, осуществить максимальный выброс его содержимого. Этот принцип реализован в других полых мышечных органах нашего организма, например, в мочевом пузыре. Сердце же в форме шара встречается у людей, страдающих дилатационной кардиомиопатией. Это заболевание характеризуется диффузным (достаточно равномерным) поражением сердечной ткани, увеличением объема камеры (дилатацией) до шаровидной формы. При этом незначительные напряжения в стенке левого желудочка создают давление, обеспечивающее жизненно необходимый выброс крови. Похоже, природа лишь на крайний случай зарезервировала для сердца такой принцип оптимизации?

У здорового человека левый желудочек сердца напоминает по форме усеченный эллипсоид вращения, отношение длинной оси к короткой которого близко к 2:1. Стенка левого желудочка неоднородна по толщине из-за сложнейшей архитектуры залегания сердечных волокон: тяжи миокарда, начинаясь на наружном слое (эпикарде) одной камеры сердца, заканчиваются во внутреннем слое (эндокарде) другой¹. Есть волокна, ориентированные циркулярно, есть — радиально и спиралевидно.

В толще миокарда находятся электрическая (проводящая) и сосудистая (питающая) сети. Площадь поперечного сечения электрических проводников и сосудов также неодинакова на всем их протяжении, поэтому одни фрагменты стенки возбуждаются раньше и кровоснабжаются лучше других. Здесь же следует добавить, что на клеточном уровне миокард левого желудочка тоже неоднороден. Например, известно, что кардиомиоциты (сердечные клетки) могут отличаться друг от друга по содержанию соединительной ткани, строению сократительных белков, изоферментному составу.

Очевидно, от особенностей строения камеры сердца зависят ее механи-

ческие свойства. Легко проследить причинно-следственную связь между характером распространения возбуждения и последовательностью механической реакции отдельных участков стенки, между региональной ориентацией сердечных волокон и изменением геометрии левого желудочка в ходе сердечного цикла. Более тонкие измерения помогают установить величину механического напряжения между эпикардом и эндокардом. Известны и другие закономерности, но и этого достаточно, чтобы понять, что левый желудочек — механически неоднородная система². Интересно, что эта неоднородность наблюдается даже на уровне сокращения кардиомиоцитов и, более того, — одиночных миофибрилл (микроскопических мышечных волоконцев в составе сердечной клетки).

И все же, почему сердце столь неоднородно? Заглянув в любое руководство по физиологии, вы в лучшем случае найдете банальный ответ: потому, что сложная пространственно-временная организация механического цикла сердца обеспечивает оптимальный выброс крови. Тогда почему левый желудочек не в форме шара? Чем этот принцип оптимизации хуже существующего? Какова роль феномена механической неоднородности миокарда? Каким образом механически неоднородные участки стенки согласованно выполняют сократительную функцию? Оказывают ли влияние механические взаимоотношения между неоднородными фрагментами стенки на их собственные механические свойства и на насосную функцию левого желудочка в целом? Если да, то какова степень этого влияния и какие механизмы лежат в его основе?

Вот лишь примерный список вопросов, на которые мы пытаемся найти ответы в наших исследованиях, выполняемых в двух лабораториях физического факультета Уральского государственного университета им. А. М. Горько-

¹ Михайлов С. С. Клиническая анатомия сердца. М., 1987.

² Brutsaert D. L. // Verh. Kon. Acad. geheesk. 1985. V. 47. P. 257—286.

го — биофизики миокарда и физиологии сердца. Эти лаборатории организованы совместно с инновационным Центром «Академический» (Екатеринбург) и Институтом трансплантологии и искусственных органов (Москва) соответственно. Пять лет работы позволили приподнять завесу таинственности, и мы с удовольствием поделимся тем новым, что узнали о деятельности сердца.

Заметим, что методически изучение феномена «механической неоднородности» в сердце — задача далеко нетривиальная. Для ее решения необходимо прежде всего количественно охарактеризовать сократительную способность отдельных участков миокарда, а это значит — установить функциональную связь между механическим напряжением (силой, отнесенной к поперечному сечению) и изменением длины мышц. Даже если предположить, что мы смогли бы с помощью маркеров условно разделить стенку левого желудочка на фрагменты и измерить изменение их линейных размеров, то все равно не сумели бы оценить механическое напряжение, генерируемое этими участками. Что бы вы стали делать в таком случае? Вероятно, сделали бы какие-нибудь допущения и упростили ситуацию. Так поступили и мы, создав для этих целей экспериментальную модель³.

Представьте себе левый желудочек в поперечном сечении. Допустим, нам удалось временно вынуть из него два соседних мышечных фрагмента, как вырезать из бублика два смежных кусочка. Поместим препараты в изолированные ванночки с циркулирующим питательным раствором и жестко прикрепим один конец каждой из мышц к собственному датчику силы, а другой — к собственному мотору для задания механических деформаций. Теперь мы можем контролировать механические переменные (длину и силу) и можем

охарактеризовать сократительную способность каждого участка стенки левого желудочка независимо друг от друга.

Что дальше? Дальше мы хотим узнать, как поведут себя наши «кусочки» в «сердечном бублике». Другими словами, нас интересуют соседские взаимоотношения между фрагментами и результат их взаимодействия. Понятно, для этого мы должны сделать препараты соседями, т.е. механически соединить их в последовательную цепь так, как это показано на рис.1. На практике нам, конечно, не надо было переставлять мышцы с места на место для их сочленения в тандем, однако пришлось разработать не только методику, но и специальную аппаратуру для управления экспериментом и контроля измеряемых переменных. Немало труда было затрачено на то, чтобы обеспечить согласованную работу мышц в реальном масштабе времени⁴.

Итак, у нас есть два жизнеспособных фрагмента стенки левого желудочка, соединенных механически последовательно. Пропустим через препараты короткий электрический импульс. Допустим, вес груза на платформе больше максимальной силы, развиваемой тандемом. В этом случае растянутый тандем будет откликаться на возбуждение генерацией импульса силы (пунктирная линия на диаграмме $F(t)$), который, однако, не сможет вызвать сокращения тандема как целого (пунктир на зависимости $\Delta L_{1+2}(t)$). Формально внешняя работа (произведение веса груза на перемещение) не совершается, но взгляните «внутрь» соединения — длина каждой из мышц (пунктир для $\Delta L_1(t)$ и $\Delta L_2(t)$ на рис.1) не остается постоянной, а непрерывно изменяется в противофазе. Это означает, что мышцы механически неоднородны, причем, будучи соединенными последовательно, реагируют на возбуждение противоположным образом — одна сокращается, другая растягивает-

³ Бляхман Ф.А., Нафиков Х.М., Мархасин В.С., Изаков В.Я. // Физиол. журн. СССР им.И.М.Сеченова. 1988. Т.74. №8. С.1191—1195; Tyberg J.V., Parmley W.W., Sonnenblick E.H. // Circ. Res. 1969. V.25. №5. P.569—578.

⁴ Гринько А.А., Соколов С.Ю., Мелкишева Е.В. и др. Экспериментальная модель механической неоднородности в сердце // Физика и радиоэлектроника в медицине и биотехнологии. Владимир, 1998. С.123—127.

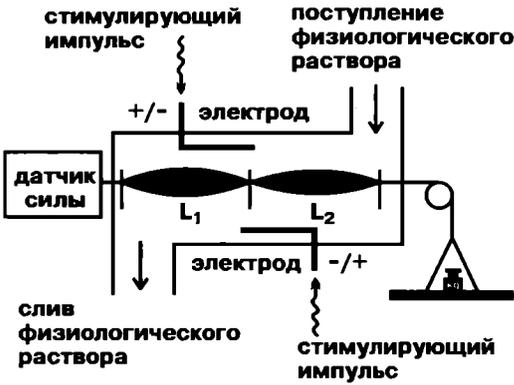
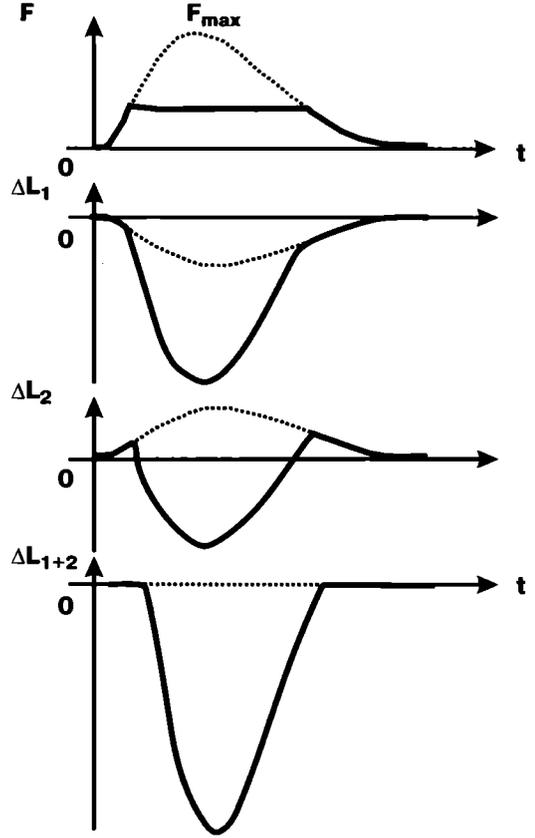


Рис. 1. Схема проведения опыта и экспериментальная запись механической активности фрагментов стенки желудочка лягушки в последовательном тандеме. При весе внешнего груза, большем максимальной силы, развиваемой тандемом мышц, внешняя работа не производится ($\Delta L_1 + \Delta L_2 = 0$), но происходит перераспределение длин каждой мышцы (пунктирные кривые). При меньшем грузе каждая мышца и система в целом совершают работу (сплошные линии). F — сила, генерируемая тандемом; ΔL_1 , ΔL_2 — удлинение каждой из мышц в тандеме, ΔL_{1+2} — общее удлинение тандема; t — время от начала действия возбуждения.



ся. Поэтому в неоднородной системе такого типа всегда выполняется механическая работа.

Теперь уменьшим вес груза до величины, втрое меньшей максимальной силы, которую может генерировать тандем при данном возбуждении. В этом случае пропускание электрического импульса через препараты вызывает качественно иной отклик (сплошная линия). Сила, генерируемая тандемом, остается постоянной при общем его сокращении. Мы видим, что система совершает внешнюю работу по перемещению груза, а взаимоотношения между мышцами становятся более заметными. Оба фрагмента тандема перемещают один и тот же груз, но на разное расстояние. Это выражается в неодинаковом относительном уменьшении длины препаратов и означает, что они выполняют разную механическую работу.

Как видно из экспериментальных данных, вопрос о «дружбе» между мышцами не стоит — работают они плавно и согласованно, постоянно «думая» друг о друге. Однако возникает другой вопрос: а усердно ли они работают? Чтобы ответить на этот вопрос, сопоставим сумму работ по перемещению одного и того же груза, совершаемых каждой мышцей, с их работой в паре. Оказалось, что сумма всегда больше работы тандема как целого с учетом взаимодействия препаратов. Это означает, что при прочих равных условиях, мышцы в неоднородной системе не выполняют максимально возможную механическую работу, а «ленятся»!

Интересно, а можно ли получить из двух сердечных мышц однородную «нелегкую» пару? Мы задали себе этот вопрос еще и потому, что даже из одного сердца нам не удалось выделить двух

близких по характеристикам препаратов. Наши экспериментальные возможности позволяли представлять фрагменты сердечной стенки в системе управления так, будто они имели одинаковую длину, силу или поперечное сечение. Однако результат в той или иной степени всегда оставался прежним — тандем проявлял себя как неоднородная система.

Оказалось, что причина тому — неодинаковый по времени ход развития и падения силы в мышцах. Другими словами, механическая неоднородность есть не что иное, как асинхронность сокращения и расслабления мышечных волокон по отношению друг к другу. Эта асинхронность тем больше, чем больше разница во времени ходе генерируемой в мышцах силы. Динамика отклика зависит от геометрических особенностей препарата и контролируется всей совокупностью молекулярных процессов, обеспечивающих сократительный акт сердечного волокна⁵.

Таким образом мы убедились в том, что любая система сердечных мышц работает асинхронно, а результат взаимодействия фрагментов миокарда в ней проявляется в снижении ее сократительной способности. Однако модель тандема — это всего лишь модель, которая далека от реальности. Она удобна для изучения общих закономерностей взаимодействия волокон в сердечной стенке, но не дает представления о функционировании сердца в целом как насосно-мышечной системы. Поэтому на следующем этапе нашей работы мы усложнили экспериментальную установку за счет изменения алгоритма управления мышцами. Теперь он содержит математическую модель камеры сердца (на данном этапе — это сфера), в стенку которой включены наши мышечные фрагменты как смежные элементы конструкции⁶. Сила,

развиваемая препаратами, непрерывно пересчитывается в механическое напряжение в отдельных участках с учетом давления внутри камеры. Нагрузка на стенки левого желудочка задается путем моделирования полного сопротивления сосудистого русла, а сервосистема поддерживает работу модели в соответствии с фазами сердечного цикла.

Посмотрим, как может повлиять локальная асинхронность на насосную функцию системы в целом. Введем небольшую задержку между стимулирующими каждую из мышц импульсами и, не изменяя нагрузку на левый желудочек, оценим его механическую работу по изгнанию крови. Оказывается, чем больше асинхронность, тем меньше работа левого желудочка (площадь под петлей «давление—объем» на рис.2).

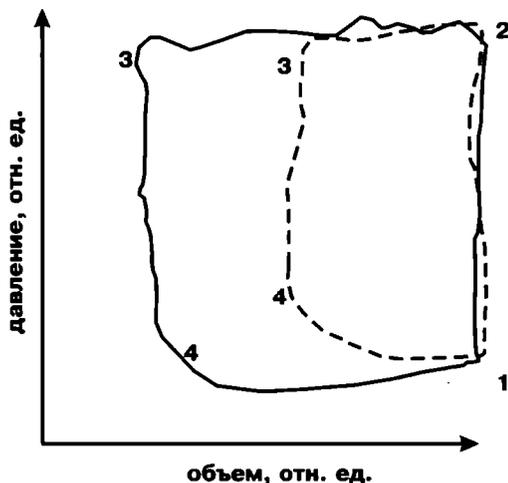


Рис. 2. Петли «давление—объем» для модельного левого желудочка при двух уровнях региональной асинхронности миокарда. При синхронной стимуляции фрагментов левого желудочка (сплошная линия) ими совершается максимальная работа по перекачиванию крови (площадь внутри петли). Введение асинхронной стимуляции с задержкой в 100 мс (штриховая линия) существенно уменьшает выполненную работу. Участок «1—2» соответствует фазе сокращения левого желудочка при закрытых клапанах, «2—3» — фазе изгнания крови, «3—4» — фазе расслабления при закрытых клапанах, «4—1» — фазе наполнения левого желудочка кровью.

⁵ Бляхман Ф.А., Честухин В.В., Шумаков В.И. Асинхронизм как модулятор сократимости миокарда и насосной функции левого желудочка //Очерки по физиологическим проблемам трансплантологии и применения искусственных органов / Под ред. В.И.Шумакова. Тула, 1998.

⁶ Гринько А.А., Соколов С.Ю., Мелкишева Е.В. и др. Цит. соч.

Не правда ли интересный, но несколькостораживающий результат. Получается, что асинхронность как атрибут нормального сердца направлена на снижение его насосной функции. Однако не будем торопиться с выводами, оставим на время мышцы и модели, от которых вы уже, вероятно, устали, и посмотрим, так ли обстоит дело в реальности. Для этого воспользуемся результатами работы наших коллег⁷ из отделения внутрисердечных методов исследования Института трансплантологии и искусственных органов, где в диагностических целях были обследованы пациенты с ишемической болезнью сердца, проявляющейся в виде приступов стенокардии (грудной жабы).

Грудная жаба — это заболевание, связанное в большинстве случаев с атеросклеротическим поражением коронарных артерий (сужением их просвета). Вследствие различных причин (например, физической нагрузки) возникает ишемия миокарда (недостаточное кровоснабжение сердечной ткани), сопровождающаяся приступом стенокардии. Однако между приступами гемодинамика и показатели насосной функции левого желудочка близки к норме.

Именно в этот период проводилось обследование пациентов. С помощью специального проводника через бедренную артерию в полость левого желудочка были введены катетеры для инъекции рентгеноконтрастного вещества, измерения давления и скорости коронарного кровотока, а в камеры правых отделов — стимулирующие электроды. Сердцу навязывался ритм с одинаковой частотой вначале из правого предсердия, а затем из области верхушки правого желудочка. В первом случае электрод находился в непосредственной близости к естественному водителю ритма и обеспечивал нормальный порядок распространения возбуждения по миокарду левого желудочка. Во втором случае возникала аномальная последовательность возбуждения.

С помощью разработанного нами специализированного цифрового измерительного комплекса мы детально характеризовали региональную механику стенки левого желудочка. В результате покадрового анализа данных киноэнтерикулографии (от лат. *ventricular* — желудочек) выяснилось, что изменение последовательности возбуждения в сердце привело к значительному увеличению региональной асинхронности миокарда⁸ (рис.3).

Невероятно, но факт: столь глубокая реконструкция кинематики стенки левого желудочка не сопровождалась значимыми изменениями его насосной функции. Независимо от степени асинхронности желудочек производил одинаковую полезную работу, т.е. обеспечивал необходимый ударный выброс крови. Однако, сделав дополнительные расчеты, мы были вынуждены признать, что мощность насосной камеры и ее КПД в среднем падали при увеличении асинхронности⁹.

Полученные нами результаты свидетельствуют, во-первых, о структурно-функциональной согласованности насосно-мышечной системы и, во-вторых, указывают на большие компенсаторные возможности левого желудочка, его способность четко подстраиваться к изменяющимся условиям. Может быть, именно поэтому левый желудочек не имеет форму шара? Простой пример. Представьте, что сердечная стенка сферическая и в ней произошел инфаркт миокарда — закупорилась маленькая веточка коронарной артерии, питающей данный фрагмент. Ранняя стадия течения этого заболевания сопровождается морфологическими изменениями данного участка, в результате которых в систолу и диастолу снижается его жесткость, т.е. увеличивается податливость.

⁸ Соколов С.Ю., Хурс Е.М., Яковенко О.В. и др. Дигитальный комплекс для исследования биомеханики стенок сердца // Физика и радиоэлектроника и в медицине и биотехнологии. Владимир, 1998. С.128—131.

⁹ Blyakhman F.A., Chestukhin V.V., Sokolov S.Y. et al. // J. Mol. and Cell. Cardiol. 1995. V.27. (Suppl.1) P.173.

⁷ Blyakhman F.A., Chestukhin V.V. // J. Mol. and Cell. Cardiol. 1993. V.25. (Suppl.III) P.98.



Рис. 3. Пространственно-временные картины сокращения левого желудочка при искусственной стимуляции сердца из правого предсердия (а) и правого желудочка (б). Полость левого желудочка в продольном сечении была разделена на 12 сегментов, для каждого из которых рассчитывалась площадь рабочей поверхности по стадиям цикла; относительное изменение площади характеризует смещение соответствующего региона стенки. Видна перестройка и хаотичность движения стенки при аномальном возбуждении (б) по отношению к нормальному (а). В систолическую часть цикла (до 40%) наблюдается как сокращение, так и расслабление различных участков стенки. По вертикальной оси приведено относительное изменение площади рабочей поверхности сегмента, %.

Для шара — это неизбежная катастрофа, а для обычного левого желудочка — это еще не беда. Например, в клинической практике часто встречаются люди, перенесшие инфаркт малой и средней тяжести на ногах.

Лишь в самых крайних случаях, когда развивается крупномасштабный инфаркт миокарда, могут сформироваться обширные постинфарктные аневризмы — участки сердечной стенки, утратившие сократительную способность и проявляющие дискинетичное движение (выпячивание) во время систолы левого желудочка. Однако и эта крайняя форма заболевания далеко не всегда катастрофа для сердца (разрыв стенки). Мы установили, что при мешотчатых аневризмах происходит сложная перестройка региональной кинематики левого желудочка, направленная на снижение нагрузки на поврежденный участок миокарда. Конечно, функциональные возможности такого сердца далеки от нормального, но это сохраняет ЖИЗНЬ, и, как показывает опыт, не на короткий срок.

Нет нужды здесь повторять прописные истины: говорить о значимости сердца для живого организма, о среднестатистическом количестве сердцеби-

ений и цистернах перекачанной крови. Сердце — не дублированный орган и не имеет право даже на кратковременный «отпуск» для залечивания своих ран. Сердце должно заботиться обо всех, а следовательно, просто обязано заботиться о себе. Наличие в сердце собственного водителя ритма, собственной системы кровоснабжения, собственной сигнальной системы, собственных химических стимуляторов, собственной конструктивной оптимизации механической функции, собственных регуляторных механизмов и т.д., — все это элементы заботы о себе. Вероятно, и механическая неоднородность, точнее асинхронность, в миокарде — звено той же цепи.

Итак, подведем предварительные итоги и попробуем сформулировать гипотезу о роли этого феномена в сердце. Во все фазы сердечного цикла форма полости левого желудочка изменяется сложным образом в соответствии с механической активностью стенки и зависит от ориентации волокон в ней, их толщины и других особенностей строения. Это факты известные. Мы же, основываясь на результатах модельных экспериментов, утверждаем, что смежные регионы стенки, работая асинхрон-

но, также могут оказывать влияние на кинематику левого желудочка за счет сложных взаимоотношений между собой. В любой момент разница в механическом напряжении будет определять направление движения одного фрагмента по отношению к другому. При этом работа, выполняемая регионами, затрачивается на изменение конфигурации камеры и, значит, на поддержание оттока крови внутри ее.

В фазы сердечного цикла, когда клапаны закрыты и объем левого желудочка не меняется, наличие асинхронности обеспечивает локальные движения регионов, сопровождаемые выполнением ими механической работы. Зачем топтаться на месте и переводить внутреннюю энергию реакций только в тепло? В это время можно позаботиться о реконструкции полости таким образом, чтобы оптимизировать выброс или наполнение. Кровь ведь не теряет полностью кинетическую энергию в эти промежутки времени, она движется внутри камеры. Более того, в определенном диапазоне нагрузок на мышцу энергетически выгоднее двигаться больше, а не меньше. Вероятно, в норме это и есть оптимальные нагрузки для данных условий.

В фазу изгнания крови левый желудочек выполняет внешнюю положительную работу, хотя вклад каждого участка стенки неодинаков прежде всего благодаря специфическому устройству камеры. Взаимодействие между регионами во время асинхронного сокращения вызывает непрерывное перераспределение механических параметров, контролируя тем самым относительную нагрузку на соответствующий участок миокарда. Кто знает, может быть, это — тоже элемент оптимизации с целью рационального расходования энергии. Мы видели в эксперименте, что мышцы в

асинхронном тандеме не выполняют максимально полезную работу. Известно также, что максимальный КПД мышцы не отвечает просто максимуму ее механической работы.

Образно говоря, механическая асинхронность — это элемент стратегически правильного использования энергии миокардом. Да, асинхронность снижает эффективность насосной функции, но сберегает компенсаторный резерв. Вероятно, в норме влияние асинхронности на насосную функцию левого желудочка компенсируется особенностями строения камеры и механизмами саморегуляции. Мы видели это в сердце человека, когда во время диагностического обследования выведенная из равновесия система через несколько циклов полностью восстанавливала свою функцию за счет внутренних резервов.

Итак, много ли мы знаем о сердце? Надеемся, что знаний наших прибавилось в понимании необычайно интересного явления в сердце. Затронутая проблема может показаться сугубо теоретической, однако она имеет важный практический аспект. Есть все основания считать, что первый предвестник подавляющего числа заболеваний сердца — перестройка кинематики сердечной стенки. Уже сегодня мы можем обосновать многие клинические наблюдения, с которыми кардиологи сталкиваются повседневно. Мы готовы к сотрудничеству и, возможно, совместными усилиями сумеем раскрыть еще не одну загадку сердца.

На разных этапах работа проводилась при поддержке Международного научного фонда Дж. Сороса, правительства Российской Федерации и Российского фонда фундаментальных исследований. Грант №96-04-50039.

Какими были древнейшие животные

М.Б.Бурзин, М.Б.Гниловская



Михаил Борисович Бурзин, научный сотрудник лаборатории докембрийских организмов Палеонтологического института РАН. Занимается микропалеонтологией и палеобиологией докембрия. Постоянный автор «Природы».



Марина Борисовна Гниловская, старший научный сотрудник Института геологии и геохронологии докембрия РАН. Область научных интересов — палеонтология позднего докембрия и раннего фанерозоя, возникновение многоклеточных организмов.

СЛУЧИТЬСЯ нам иметь машину времени (а какой палеонтолог отказался бы от нее?), мы увидели бы собственными глазами тех загадочных животных и те неведомые растения, которые пока удастся лишь реконструировать по фрагментарным остаткам. Несказанно повезло бы ученому-эволюционисту: скользя по тысячелетиям, он смог бы наблюдать воочию, как менялся живой лик нашей планеты в течение ее истории.

Но так ли уж зрелищна для простого смертного была бы картина всех этапов земной жизни? Конечно, жили когда-то на Земле известные всем гигантские динозавры, звероящеры, лабиринтодонты, огромные насекомые, причудливые млекопитающие и прочие необычные существа, но крупные наземные организмы населяют нашу планету лишь последние 350 млн лет почти из четырех с половиной миллиардов лет ее существования. До того — еще миллионов двести — крупные организмы обитали только в морях. Большую же часть времени, почти 3 млрд лет, на планете царствовали микроскопические существа. Так что путешественников в далекое прошлое ожидали бы лишь тина, плесень или что-нибудь подобное, столь же мало привлекательное. Но когда-то ведь появились в таком невзрачном мире вполне видимые невооруженным глазом, макроскопические, животные! Когда это произошло и какими они были? Не имея машины времени, попробуем обратиться к палеонтологическим сведениям.

НАХОДКИ ДОВЕНДСКИХ ЖИВОТНЫХ

Искать макроскопических существ следует, конечно, в докембрии. В протерозойских отложениях оказалось уже

много различных глазом ископаемых остатков, но большая часть их скорее всего представляет собой остатки водорослей¹. Правда, давно и хорошо известна эдиакарская фауна — мягкотелые животные, населявшие моря в венде (600—530 млн лет назад), среди которых были даже гиганты. Со времени открытия (1946) этих организмов геологом-любителем Р.Сприггом в местечке Эдиакара (Южная Австралия) многие исследователи разных специальностей пытались рассматривать их как древнейших многоклеточных животных (*Metazoa*) — предков фанерозойского животного мира. Однако М.Глесснер, одним из первых описавший эдиакарскую фауну, неоднократно высказывал мысль, что в эволюции макроскопических животных должна существовать доэдиакарская предыстория. Более древние, по сравнению с вендскими, животные действительно были обнаружены — на территории Северо-Китайской платформы². В 1980 г. Чжен Веньу описал предположительно червеобразную форму *Sinosabellidites* из отложений, датированных 840 млн лет, а в 1982 г. Ван Гуйсян описал уже несомненно червеобразных организмов родов *Pararenicola* и *Protoarenicola* из формации возрастом 740 млн лет. Эту формацию китайские геологи относят к низам синийской системы, которая считается аналогом верхней части верхнего рифея³ (предпоследнего протерозойского периода, предшествовавшего венду). Публикация сведений о находках в Китае привлекла к себе внимание специалистов по палеонтологии докембрия, и в конце концов после проверки эти организмы были признаны несомненно доэдиакарскими (конкретнее — позднерифейскими) многоклеточными (*Metazoa*) с четкой сегментацией тела. Но открытия на этом не закончились.

В 1990 г. в России, на Южном Тимане, в керне скважины, пробуренной

на Джежимской Парме, геолог В.В.Терешко нашел макроскопические ископаемые остатки в отложениях «вычегодской свиты» верхнего докембрия. Коллекция из 83 экземпляров была передана М.Б.Гниловской на исследование. Чрезвычайное своеобразие ископаемых, названных *Parmia anastassiae*, и их парадоксальная древность потребовали длительного и обстоятельного изучения⁴.

Сероцветные породы «вычегодской свиты» Южного Тимана, содержащие остатки древнейших червеобразных животных, имеют алевро-глинистый состав, мощность их около 100 м. Увы, как это часто бывает с уникальными находками, непосредственно в типовом местонахождении не удалось обнаружить никаких других остатков, которые позволили бы точно определить возраст пород (буровые работы прекратились из-за финансовых проблем), не было возможности сделать это и радиометрическим методом. Знаток геологии Тимана В.Г.Оловянишников после знакомства с коллекцией и изучения керна этой скважины и соседних с ней, а также местных обнажений предположил, что маломощная «вычегодская свита» имеет позднерифейский — ранневендский возраст. Мысль о ее принадлежности к позднему рифею высказали также Ю.Р.Беккер и К.Э.Якобсон, известные специалисты по геологии и стратиграфии рифея и венда Урала и Русской платформы. А.Ф.Вейс и Т.Н.Герман, изучившие органические микрофоссилии, которые были извлечены непосредственно из образцов с пармией, считают, что эти отложения вероятнее всего относятся к позднему рифею.

Верхняя возрастная граница «вычегодской свиты» определяется по наличию в ней микрофоссилий, совершенно не характерных ни для верхневендских, ни для нижнекембрийских отложений Русской платформы. Чуть сложнее отрицать ранневендский возраст свиты, так как микробиоты этого времени на Русской платформе до сих пор не найдены.

¹ Бурзин М.Б. // Альгология. 1996. Т.6. №4. С.407—426.

² Zheng Wenwu // Bull. Chinese Acad. Geol. Sciences. 1980. Ser. IV. V.1. P.49—69.

³ Vidal G., Moczydlowska M., Rudavskaya V.A. // Paleontology. 1993. V.36. №2. P.387—402.

⁴ Гниловская М.Б. // ДАН. 1998. Т.359. №3. С.369—372.

Однако отсутствие типичных ранневендских форм, которые известны из Австралии, Китая и Шпицбергена, лишь подтверждает мнение о позднерифейском возрасте «вычегодской свиты». То, что ниже находятся отложения, содержащие в других разрезах верхнерифейские строматолиты, задает нижнюю временную границу и позволяет отнести толщу с пармией к позднему рифею. В настоящее время организован специальный проект по выяснению точного возраста слоев с пармией, поддержанный Российским фондом фундаментальных исследований.

ПАРМИЯ — ВОДОРΟΣЛЬ ИЛИ ЧЕРВЬ?

Палеонтологи часто сталкиваются с трудностями в различении водорослей и червей из-за морфологически простых и весьма схожих очертаниями их фоссилизированных остатков. Мало отличаются от них и следы жизнедеятельности грунтоедов. Теперь уже никого не удивляет, что в позднем докембрии было много разнообразных, в том числе макроскопических, водорослей. Подавляющее их большинство имело лентовидные или пластинчатый таллом, в фоссилизированном виде — перегнутый или изогнутый. По таким перегибам и идентифицируется, что таллом был плоским. Как и современные водоросли, ископаемые удерживались на субстрате специальными структурами, имели также морфологические приспособления для прикрепления к таллону органов размножения. Однако у многих ископаемых остатков нет ни тех, ни других структур. А это означает, что такие остатки представляют собой не целое растение, а лишь его фрагменты, оторвавшиеся от таллома и захороненные вдали от места обитания самих водорослей. Форма таллома докембрийских водорослей могла быть сколь угодно сложной, иметь раздувы и сжатия, но она была постоянной.

Посмотрим, как же выглядят ископаемые остатки пармии. Это — сплюснутые мумифицированные тела изменчивой формы, длиной 20—60 мм и шириной 1—

2.5 мм, которая может меняться на одном экземпляре в 1.1—2 раза. На экземпляре, сохранившемся целиком (он-то и был 20-миллиметровым), имелись два неповрежденных конца: один зауженный, другой уплощенный. Никаких структурных элементов на концах обнаружить не удалось, не было ни следов отрыва, ни отверстий. Мягко, волнисто изогнутое тело, иногда даже согнутое пополам, но без разрыва поверхности, состоит из однотипных сегментов — метамеров, между которыми видны очень четкие узкие перетяжки, прямые или слегка вогнутые (выпуклые). Боковые стороны метамеров всегда немного выступают над перетяжками, создавая чуть волнистый контур тела. Длина сегментов довольно постоянна (в среднем 0.14 мм), но на некоторых экземплярах они растянуты до 0.28—0.50 мм или сжаты до 0.09 мм (иногда до 0.05). На 1 мм длины тела чаще всего бывает семь метамеров, в сжатых участках до 11, а в растянутых — всего два—четыре.

На наш взгляд, во всех упомянутых чертах и тех, которые еще будут приведены, просматривается явное сходство пармии с современными кольчатыми червями (аннелидами), а не с водорослями. В самом деле, и у червей, и у пармии тело сегментировано, причем сегменты однотипные; и ископаемым, и современным животным свойственны перистальтические движения, благодаря которым разные части тела одной особи могут иметь неодинаковую форму (вспомним растянутые и сжатые метамеры пармии). Сходство имеет и наружный покров. На максимально полно сохранившихся участках тело пармии покрыто черной блестящей, как бы углефицированной оболочкой. Ее вполне допустимо отождествить с кожно-мускульным мешком (т.е. телом червей), покрытым кутикулой — эластичной, лишенной какой-либо скульптуры, как у современных аннелид. Именно благодаря мумификации сплюснутого кутикулярного покрова и кожно-мускульного мешка остатки пармии и сохранились. Ее оболочка нередко бывает разрушенной при захоронении, но иногда сохраняется в виде длинных, похожих на ленты, тяжей (шириной 0.25—0.35 мм) вдоль боковых сторон тела.



Пармия из верхнего рифея Тымана: несколько экземпляров разной сохранности (слева), на одном из которых виден участок перистальтического растяжения (1), на другом — часть перекрученного и сморщенного кутикулярно-мышечного мешка, где содержимое полностью разрушилось; экземпляр с сохранившимися концами тела (вверху, первый слева), один из них, предположительно — задний, находится в состоянии перистальтического сжатия; часть тела с хорошо видимой кольчатой поверхностью кутикулы (вверху, в середине) и экземпляр с разрушенным кутикулярно-мышечным мешком, но хорошо различимой сегментацией тела. Масштаб 1 мм.

Фото М.Б.Гилювской

Можно предположить, что эти тяжи связаны с продольной мускулатурой, которая вместе с кольцевыми мышцами метамеров обеспечивает перистальтику. Большая изменчивость формы тела пармии, видимо, и обусловлена перистальтическими движениями. Что касается концов тела, то, по аналогии с аннелидами, зауженный конец пармии логично считать передним, а уплощенный — задним.

Обратимся теперь к уже упомянутым доэдиакарским червеобразным организмам из Северо-Восточного Китая. Пармия проявляет несомненное сходство с парареникулой. Тело обоих организмов состоит из метамеров и даже их количество на 1 мм длины отличается ненамного: у пармии их 7—11, у парареникулы — 8—16; кутикула у той и другой лишена скульптуры, но у пармии кутикулярный покров, очевидно, более эластичен, так как может сми-

наться в складки. Однако есть и более существенные отличия: продольные тяжи у парареникулы отсутствуют, но у нее имеется подобный хоботу вырост на переднем конце тела. Заметим, фактически этими же признаками пармия отличается и от протоареникулы.

Из верхневендских и нижнекембрийских отложений известны червеобразные трубкожилы двух семейств (*Saarinidae* и *Sabelliditidae*), но они принципиально отличаются от пармии тем, что в ископаемом состоянии встречаются их трубчатые домики — вместилище самого организма, а не остатки кожного-мышечного мешка, как у пармии.

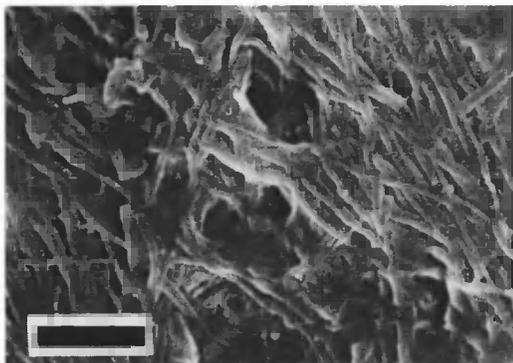
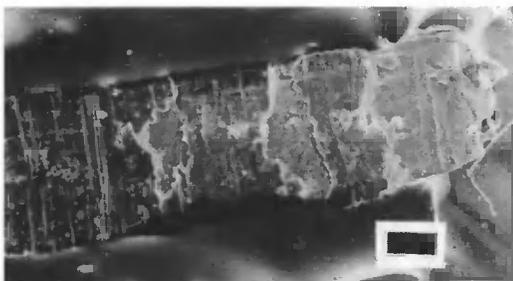
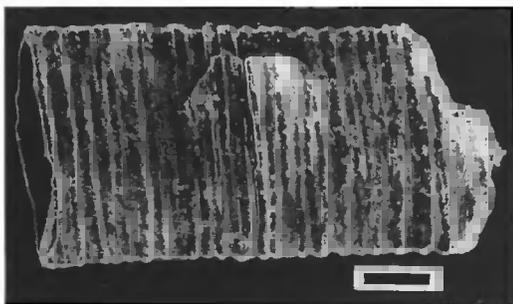
ЭДИАКАРСКИЕ ОРГАНИЗМЫ

Чтобы понять значение находок рифейских червеобразных организмов, обратимся к эдиакарским формам, ко-

торые считались древнейшими макро-скопическими животными⁵. Появились они, судя по всему, примерно 600 млн лет назад и уже через 30—40 млн лет распространились в морях почти повсеместно, но просуществовали недолго: около 530 млн лет назад исчезли из ископаемой летописи. Кроме эдиакарской фауны, из вендских отложений известны также узкие (обычно не шире 5 мм) следы жизнедеятельности грунтоедов, но до сих пор неясно, каким организмам они могли принадлежать. Найдены и челюстеподобные структуры каких-то фильтраторов из рода *Redkinia*. Трубочки же семейства *Saarinidae*, недавно описанных Гниловской из верхнего венда⁶, ранее считали сабеллидитидами — представителями фауны лишь переходных слоев от венда к кембрию. Поэтому казалось естественным искать корни животного мира фанерозоя именно среди эдиакарской фауны. Из числа этих организмов указывались предшественники разных групп кишечнорастных, плоских и кольчатых червей, членистоногих, моллюсков, иглокожих и даже полухордовых. Но сравнения подчас основывались лишь на сходстве морфологии отпечатка или слепка с изображениями современных животных. Однако таким традиционным интерпретациям явно противоречит ряд особенностей строения эдиакарских мягкотелых организмов. У большинства их форм отсутству-

ют: — рот, ротовые придатки, структуры для сбора пищи;

— пищеварительная система. При ее наличии кишечник был бы заполнен неполностью переваренной пищей (оболочками тех организмов, которыми питались животные) или мелкодисперсным органическим детритом. Такие органические остатки хорошо фоссилизируются, сапропелизируются или пиритизиру-



Фрагменты полых трубок-домиков трубочника Sabellidites cambriensis (нижний кембрий Русской платформы). Под морщинистой поверхностью гомогенного слоя (вверху; масштаб 300 мкм) находится спутанно-волокнистый слой (в середине; масштаб 300 мкм), который образован множеством фибрилл (внизу; масштаб 3 мкм).

Фото М.Б. Бурзина

ются и потому должны четко выделяться на отпечатке или слепке. Ничего этого у эдиакарских форм нет;

— какие-либо устойчивые и способные мумифицироваться покровные структуры, хотя бы кутикулоподобные, не говоря уже о скелетах.

⁵ Глесснер М.Ф. Древнейшие бесскелетные организмы // Природа. 1963. №11. С.73—78; Соколов Б.С. Вендский период в истории Земли // Там же. 1984. №12. С.3—18; Федонкин М.А. Загадки вендской фауны // Там же. 1989. №8. С.59—72.

⁶ Гниловская М.Б. // ДАН. 1996. Т.8. №1. С.89—93.

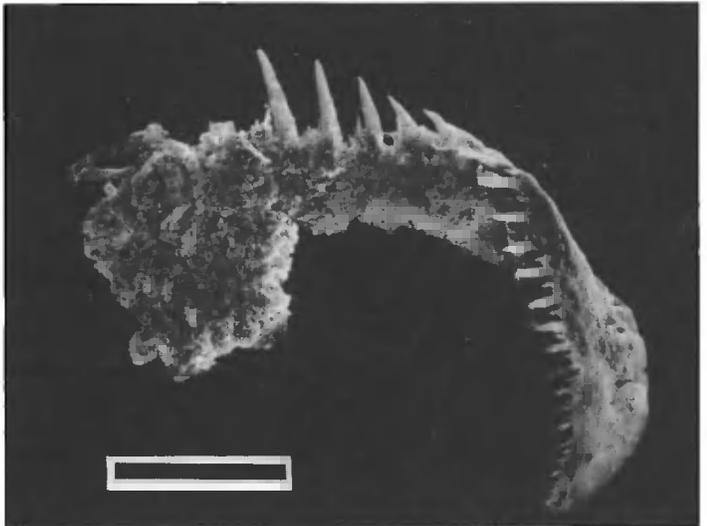
Саариниды — животные-современники эдиакарских организмов, обитавшие в членистых домиках с многочисленными дщцами: *Saarina juliae*, у которой трубка образована вставленными друг в друга воронками с плоским основанием и отогнутыми краями (слева) и *S. kirsanovi*, у которой боковые стороны воронок были слабо выпуклыми. Масштаб 1 мм.

Фото М.Б.Гниловской



Челюстеподобная структура древнейшего организма-фильтратора — *Redkinia fedonkini*. В левой части снимка видны фрагмент сапропелеподобного вещества и трубчатый чехол нитчатой цианобактерии. Масштаб 100 мкм.

Фото М.Б.Бурзина

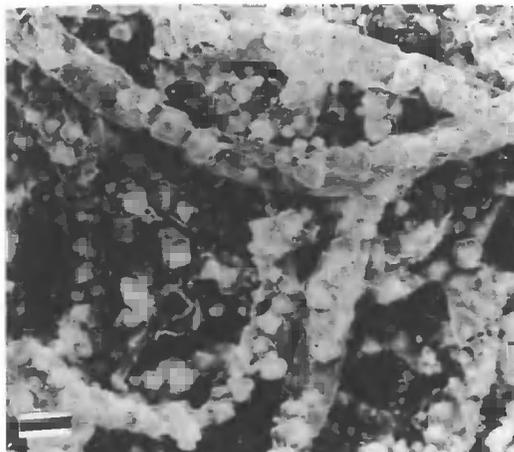


Весьма сомнительно, что эдиакарские мягкотелые животные имели мускулатуру (хотя их остатки бывают деформированы, но это скорее всего результат посмертных изменений формы тела в процессе захоронения, а не прижизненных мускульных сокращений). Кроме того, судя по размерам и характеру распределения в вендских отложениях отпечатков и следов жизнедеятельности подвижных организмов, большин-

ство эдиакарских форм вели неподвижный образ жизни.

Но если они не перемещались и не имели пищеварительной системы, то как же они питались?

М.Мак-Менамин полагает, что этим существам пищу поставляли, как современным герматипным кораллам, гигантским моллюскам тридакнам и некоторым другим беспозвоночным, эндосимбиотические фотосинтезирующие



Участок мата, образованного нитчатыми серными бактериями *Zinkovioides inclusis*. Внутри трубчатых чехлов заключены кристаллы пирита, возникшие на ранних стадиях диагенеза по гранулам серы и накопленные внутри клеток в процессе метаболизма. Масштаб 10 мкм.

Фото М.Б.Бурзина

водоросли⁷. Эффектный образ — в венде пищевые цепи были столь коротки, что не выходили за пределы тела животных, — увы, не соответствует действительности. Остатки многих эдиакарских форм приурочены к отложениям штормовых или мутьевых потоков, т.е. к активной гидродинамической среде, которая характеризуется мутностью вод⁸. Современные животные, питающиеся за счет фотосимбионтов, и пассивные фильтраторы, живущие на поверхности осадка, обитают в иных условиях — избегают мутных вод и засыпания осадком.

А не могли ли обеспечивать пищей эдиакарскую фауну другие эндосимбиотические бактерии из числа хемотрофных? Ведь таким образом получают питательные вещества современные организмы, живущие по соседству с подводными гидротермами или в зонах высачивания из осадков вод, обогащенных метаном и аммиаком. Продукты жиз-

недеятельности хемотрофных бактерий, а именно серных, действительно обнаружены на остатках эдиакарских животных, но среда их обитания не имела никакого сходства ни с гидротермами, ни с зонами высачивания. Да и пиритизация эдиакарских форм по остаткам серных бактерий нетипична (пирит обычно образуется на ранних стадиях диагенеза, если бактерии накапливают серу внутри клетки или выделяют ее в окружающую среду⁹). Следовательно, и хемотрофные бактерии не могли обеспечивать пищей эдиакарских животных.

Но возможен еще один вариант, если эти организмы обитали в насыщенных органическими веществами осадках, т.е. в илах. Такой образ жизни ведут современные гигантские колониальные одноклеточные ксенофиофоры, с которыми А.Ю.Журавлев сравнивал эдиакарские формы¹⁰. (Заметим, кстати, что он первым из отечественных палеонтологов обратил внимание на принципиальную необоснованность интерпретации этих ископаемых организмов как представителей классических групп беспозвоночных.) Однако эдиакарские формы жили, как упоминалось, в гидродинамически активных условиях, где илы накапливаться не могут.

Если проанализировать характер распределения остатков фитопланктона, фитобентоса, животных и деструкторов по нескольким временным срезам в поздневендском бассейне Русской плиты¹¹, то окажется, что связи между распространением фитобентоса и эдиакарских организмов нет. Это может означать, что они не входили в одни и те же экосистемы, т.е. не были звеньями пищевых цепей пастбищного типа. Эти животные, видимо, не сосуществовали и с деструкторами вендского времени — нитчатыми серными бактериями, ана-

⁷ McMenamin M.A.S. // *Palaies*. 1986. V.1. P.178—182.

⁸ Burzin M.B., Grazhdankin D.V., Bronnikov A.A. // *Journ. of Journals*. 1998. V.2. №1. P.47—53.

⁹ Бурзин М.Б. Микробные бентосные сообщества позднего венда // Проблемы доантропогенной эволюции биосферы. М., 1993. С.282—293; Burzin M.B. // *Paleontological J.* 1995. V.29. №1A. P.1—34.

¹⁰ Zhuravlev A.Yu. // *Neue Jahrbuch für Geologie und Paleontologie Abhandlungen*. 1993. Bd.190. №2/3. S.299—314.

¹¹ Burzin M.B. // *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*. 1996. V.102. №3. P.308—315.

логичными современным, которые развиваются на детрите и образуют маты.

В средне-высокоширотном морском бассейне, занимавшем в позднем венде территорию Русской платформы, накапливались илистые и песчаные осадки. На мелководье из-за активной гидродинамики цианобактериальные маты были распространены мало. Лишь в тех частях бассейна, где скорости накопления осадков были наиболее низкими, встречались маты нитчатых осцилляториевых форм и колонии спирально свернутых нитей рода *Obruchevella*. Доминирующим типом бентосной растительности были заросли нитчатых водорослей (из родов *Striatella*, *Palaeolyngbya* и др.), имевших эвкарриотные размеры и морфологию. Эти водоросли произрастали, судя по распределению их остатков в породах, в мелководных прибрежных зонах и на отмелях. Сегодня в сходных водорослевых лугах обитают разнообразные мелкие животные (мейофауна), но находки подобных организмов в венде пока не известны. Обнаруженная в вендских отложениях редкия свидетельствует, что тут жили и фильтраторы, так как ее «челюсти» были не жесткими, а эластичными и явно годились для фильтрации, но не для удержания и измельчения пищи.

Обильный детрит водорослевых лугов широко (более 100 км) разносился по бассейну и вместе с остатками планктона был основным компонентом органического вещества илов, которые накапливались на той глубине, где осадок не взмучивался волнами. Эта органика обеспечивала существование разнообразных мелких подвижных организмов-грунтоедов, оставивших в ископаемой летописи следы своей жизнедеятельности.

В эстуарии — той части морского бассейна, где был существен приток пресных вод, — из бентосной растительности встречались лишь кустистые ветвящиеся водоросли рода *Eoholynia*. Оторвавшись ото дна, они переносились во взвешенном состоянии, и после смерти оседали на разделе вод разной солености и служили пищевым субстратом для серных бактерий. В этой морской зоне,

где придонный слой был заражен сероводородом, на дне обитали только червеобразные животные-трубкожилы.

А где же обитали эдиакарские животные? Их остатки найдены лишь в наиболее открытых и мористых частях бассейна — между мелководьями и относительно глубокими местами. Судя по ископаемой летописи, в этой промежуточной зоне некоторое время (сезон или сезоны) осадки практически не накапливались, а значит, существовали постоянные или периодические потоки или течения, не дававшие осаждаться фоновым тонким илам с остатками планктона. Именно в такие периоды дно и заселяли эдиакарские организмы, часто образуя плотные поселения на его поверхности либо немного погружаясь в осадок. После сильных штормов (или штормового сезона) эти поселения засыпались слоем осадка, но жизнь эдиакарских животных восстанавливалась. Личинки или просто части тел этих организмов (если они были способны к регенерации из фрагментов) давали начало следующим поколениям на вновь образовавшейся поверхности донного осадка.

ПСЕВДОПАРАЗИТИЗМ — ВЫМЕРШИЙ ОБРАЗ ЖИЗНИ

Особенности морфологии и распространения эдиакарской фауны можно понять, если следовать гипотезе А.Зейлахера¹². Он считает, что вендские мягкотелые животные эдиакарского типа (вендозоа, или вендобиионты) были осмотрофными организмами, т.е. дышали, питались и выделяли ненужные продукты жизнедеятельности за счет пиноцитоза и диффузии через поверхность тела.

Осмотрофное питание ныне характерно для грибов и растений: они всасывают минеральные вещества или

¹² Seilacher A. Late Precambrian and Early Cambrian Metazoa: preservational or real extinction? Patterns of change in Earth evolution / Eds. H.D.Holland, A.F.Trendal. Berlin, 1984. P.159—168; Ibid. // Lethaia. 1989. V.22. P.229—239; Ibid. // J. Geol. Soc. London. 1992. V.149. P.607—613.

поверхностью всего тела, или специализированными органами — мицелием, ризомицелием, корнями. Таким способом получают пищу и паразитические животные, утратившие пищеварительную систему. Одноклеточные животные питаются за счет фагоцитоза (захвата пищевых частиц) и индивидуального внутриклеточного пищеварения или пиноцитоза (захвата капли раствора). Что касается современных многоклеточных, то фагоцитоз свойствен лишь их специализированным клеткам — амебцитам и фагоцитам, но теперь они выполняют защитную функцию. Только трихоплакс — самый простой из современных многоклеточных организмов — объединяет в себе эти два типа питания. А у всех свободноживущих многоклеточных полощтой тип питания. Пищевые частицы попадают в полость, куда особые секреторные клетки выделяют пищеварительный секрет с ферментами, которые расщепляют исходные продукты. Затем по распределительной системе питательный раствор поступает во все клетки организма и потребляется ими за счет осмотрофии и пиноцитоза.

Допустимо предположить, что в эволюции, на стадии перехода от одноклеточных к многоклеточным животным, существовали и организмы, у которых все клетки были способны к внутриклеточному пищеварению, и организмы, утратившие это качество, но приобретшие секреторные клетки и, может быть, имевшие распределительную систему, но еще без пищеварительной полости. Именно эта модель более всего соответствует эдиакарским животным и объясняет отсутствие у них каких-либо покровов, многие особенности строения и неподвижный образ жизни.

Пищей эдиакарской фауны могли служить растворенные в воде органические вещества — продукты жизнедеятельности водорослей и прокариот, широко развитых в поздневендских бассейнах. Осмотрофное питание потребовало увеличения размеров и необычной морфологии тела — его выскочного рельефа, чтобы подняться надо дном и иметь большую всасывающую поверх-

ность. Обитая в зонах действия придонных течений, где не было обилия биологически важных веществ, эти животные получали их в достатке за счет постоянного омывания водным потоком, который не только доставлял пищу, но и уносил продукты выделения. Все это создавало условия для локального существования очень плотных популяций, что и наблюдается в ископаемой летописи. Такой тип питания возможен только при отсутствии плотных покровов и не требует рта и пищеварительной системы, но сами организмы обязательно должны быть тонкими и иметь большую удельную поверхность. Именно такая морфология и характерна для эдиакарских животных.

В современном мире обнаруживается аналогия образа жизни и способа питания вендских мягкотелых животных с эндопаразитами пищеварительной или кровеносной системы. Но вендские животные обитали не внутри тел конкретных организмов, а были своеобразными паразитами экосистем — псевдопаразитами. В лоне этих экосистем, образованных прокариотами и низшими эвкариотами, они могли существовать до тех пор, пока эффективные фильтраторы не изменили характер распределения жизненно важных веществ (биогенов) в бассейнах конца венда — начала кембрия. Тогда столь экзотический образ жизни стал невозможным и эдиакарская фауна исчезла с арены жизни.

КТО БЫЛ ПРЕДКОМ НАСТОЯЩИХ МНОГОКЛЕТОЧНЫХ?

Если сравнить пармию с эдиакарскими организмами, то обнаруживаются очень важные различия. Во-первых, пармия, в отличие от неподвижных эдиакарских животных, была способна, как мы полагаем, передвигаться. Свидетельство тому — плавно изогнутое тело и изменчивость его формы за счет перистальтики, которая обеспечивалась мускулатурой. Во-вторых, пармия имела прочный кутикулярный покров, а значит, питание, выделение и дыхание через поверхность тела были невозможны.



Трубкажилы и вендские водоросли. Древнейший настоящий трубкажил *Sokolovinia costata*, который имел полый домик, вначале — конической, а затем цилиндрической формы, состоявший из двух слоев, причем внешний был смят в поперечные складки-морщины (вверху, слева, увел. 20); гигантская оболочка планктонной водоросли *Ljadlovites reticulatus* (вверху, справа, увел. 20); фрагмент нитчатой водоросли *Striatella coriacea*, чьи нити могли достигать 2—4 см и которая образовывала заросли типа водорослевых лугов; на снимке различимы тонкая слизистая оболочка нити и остатки межклеточных перегородок (внизу, слева, увел. 80); прижизненное скопление чехлов спирально свернутых нитей *Obruchevela parva* (увел. 130). Эта водоросль образовывала поселения на мелководьях с низкими скоростями накопления осадков. Водоросли и эдиакарекие организмы обнаружены на одном и том же стратиграфическом уровне Русской платформы.

Фото М.Б.Бурзина

Следовательно, она должна была иметь мускулатуру, пищеварительную, нервную и выделительную системы. Иными словами, уровень ее организации был существенно выше, чем у более молодых эдиакареких организмов. Получается, что еще в позднем рифее, т.е. задолго до них, появился и параллельно с ними развивался мир более высоко организованных животных, уже имевших пищеварительную систему. И действительно, о его наличии свидетельствуют находки вендских и, как предполагается, довендских следов жизнедеятельности

животных-грунтоедов, пропускавших осадок сквозь кишечник¹³. Эти представления подтверждаются анализом закономерностей развития в позднем протерозое планктонных и бентосных водорослей¹⁴, бывших пищевой базой для животных. Дальнейшая эволюция именно животных с пищеварительной системой привела в самом конце венда

¹³ Brasier M.D., McIlroy D. // J.Geol.Soc.London. 1998. V.155. P.5—12.

¹⁴ Бурзин М.Б. Зачем шипы докембрийскому фито-планктону? // Природа. 1997. №2. С.98—110; Он же // Альгология. 1996. Т.6. №4. С.407—426.



Один из эдиакарских организмов — *Inkylovía lata* (верхний венд Архангельской обл.). Натуральная величина. Экземпляр из экспозиции Палеонтологического музея им. Ю.А. Орлова.

Фото М.Б. Бурзина

— начале кембрия к массовому появлению многоклеточных животных современных типов и вызвала глобальные изменения биосферы. Мир на переходе к кембрию изменился столь принципиально, резко и быстро, что места для эдиакарских организмов с экзотическим образом жизни в нем уже не стало.

Дали ли эдиакарские животные потомков, доживших до сего дня?

Современные наиболее просто устроенные беспозвоночные из подцарства *Mesozoa* — ортонектиды и дициемиды — считаются потомками древних фагоцителлообразных организмов, лишенных рта и кишечника, настоящих зародышевых листков, нервной системы и мускулатуры. В.В. Малахов полагает, что некоторые из этих древних существ перешли к паразитическому образу жизни в организме разных групп морских беспозвоночных. А это повлекло за собой усложнение жизненного цикла, сильную специализацию паразитического поколения и даже превращения его в плазмодий.

Может быть, именно переход к внутреннему паразитированию, особенно естественный для псевдопаразитов, позволил этим архаичным животным (возможно, потомкам эдиакарской фауны) выжить в современном мире, сохранив черты древних фагоцителлообразных предков в строении свободноживущего полового поколения. А хозяевами мира стали настоящие многоклеточные (*Eumetazoa*) — многочисленные и разнообразные потомки пармии и ее родственников. Медленно и постепенно у них развивался принципиально новый в истории земной биоты способ питания — переработка необходимых веществ в пищеварительной полости.

Такой вырисовывается картина эволюционных отношений в мире видимых глазом животных, обитавших на нашей планете в незапамятные времена.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (Грант 98-05-648580).

Глуководный осьминог светит присосками

К.Н.Несис,

доктор биологических наук
Москва

ГЛУБОВОДНЫЕ плавниковые осьминоги долгое время считались редкими и экзотическими обитателями океанского дна. В последние десятилетия, с применением больших глуководных тралов, подводного фотографирования и, в особенности, обитаемых аппаратов, стало ясно, что эти животные весьма обычны, широко распространены и местами многочисленны. Многие черты строения резко отличают их от обыкновенных осьминогов: пара больших весловидных плавников по бокам тела, один ряд присосок на руках и ряд длинных усиков с каждой стороны от присосок, глубокая перепонка между руками, доходящая почти до их концов (у обыкновенных осьминогов плавники и усики отсутствуют, перепонка гораздо короче).

Резко различается и строение присосок. У обыкновенных осьминогов они работают, как всем известный вантуз. Вантуз надо приставить резиновой чашкой к стоку кухонной раковины, прижать, отпустить — и вся грязь из стока вытянется наружу. Осьминог прикладывает присоску к захватываемому предмету, сокращает ее мышцы, выжимает из чашки-присоски воду, затем расслабляет мышцы — в чашке создается разреже-

ние, и гидростатическое давление прочно прижимает присоску к предмету. Но у плавниковых осьминогов присоски сильно модифицированы: большинство похоже на конусы, заканчивающиеся крохотным устьем, другие, напротив, резко увеличены и уплощены, подобно лепешкам, или имеют шаровидную форму. Часть конусовидных присосок, как и присоски обыкновенных осьминогов, имеют воронку с отверстием в центре, но воронка эта крошечная, а отверстие не ведет в чашку — чашки попросту нет. У других же присосок даже отверстия нет, так что они напоминают маленькие блюдца. Естественно, такие присоски не могут ни к чему прилепиться. Для чего же они служат?

В начале 80-х годов английские зоологи Р.Дж.Олдред, М.Никсон и Дж.З.Янг¹ предположили, что модифицированные присоски плавниковых осьминогов — это своеобразные органы свечения, фотофоры. Но через два года они вновь провели исследования и установили, что своеобразный орган в основании прозрачной присоски, признанный ими за фотофор, — необычный нервный ганглий, а крупные клетки, которые они перво-



Светящиеся присоски Stauroteuthis syrtensis при искусственном освещении. Они отражают свет, как катафоты дорожных знаков.



Stauroteuthis syrtensis на свету и он же в собственном свете. (Johnsen S., Balser E.J., Widder E.A., 1999).

¹ Aldred R.G., Nixon M., Young J.Z. // J. Molluscan Stud. 1982. V.48. №1. P.100—101; Ibidem // Ibid. 1984. V.50. №1. P.67—69.

начально сочли светящимися, на самом деле — видоизмененные нервные клетки.

Позднее плавниковых осьминогов многократно наблюдали из подводных обитаемых аппаратов, но всегда — при свете прожекторов. И вот, наконец, исследователи догадались пойманного осьминога поместить в аквариум и выключить свет. Осьминог светился — причем именно присосками!

Это был *Stauroteuthis syrtensis*, обитатель придонного слоя на материковом склоне Северо-Западной Атлантики. Его «портрет», сделанный из глубоководного аппарата сотрудниками Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН, публиковался в «Природе»². Из подводного аппарата «Джонсон Си-Линк» наблюдали трех осьминогов вблизи залива Мэн у северо-восточного побережья США (глубина 700—820 м) С.Йонсен, Э.Уиддер (Океанографический институт, Харбор-Бранч, Форт-Пирс, Флорида) и Э.Балзер (Иллинойский Вестлианский университет в Блумингтоне). Двух осьминогов поймали (мастерская работа пилотов аппарата), и один из них прожил некоторое время в аквариуме на борту судна-матки «Эдвин Линк»³.

Когда осьминога потрогали и выключили освещение, он засветился слабым зеленовато-голубым светом, типичным для морской биолюминесценции (максимум

лучеиспускания на длине волны 470 нм). Свечение длилось около 5 мин. Отдельные присоски либо непрерывно испускали тусклый свет, либо светились короткими, но яркими вспышками каждые 1—2 с. Свет давали только присоски. Исследователи пытались добиться, чтобы осьминог к чему-нибудь прилепился, но безуспешно — присоски неспособны присасываться! Их строение оказалось типичным для плавниковых осьминогов: толстая прозрачная коническая ножка с крошечным «блюдец» на верхушке, по краю «блюдца» ряд крючковидных зубчиков, а в центре узкий глубокий канал — вот все, что осталось от чашки присоски. В ее основании действительно находится нервный ганглий, но вся сложная мускулатура обычных осьминожьих присосок — продольная, кольцевая и радиальная — редуцирована и замещена светопроизводящими клетками, фоточитами. Иными словами, это присоска, мускулатура которой превратилась в светящуюся ткань!

Если у кальмаров биолюминесценция — явление вполне обычное, то у обыкновенных осьминогов — очень редкое. Известно, в частности, семейство прозрачных глубоководных пелагических осьминогов *Bolitaenidae*, самки которых носят яйца на руках около рта. Перед размножением у зрелых самок — и только у них — вокруг рта развивается светящееся кольцо, а тело, и в особенности перепонка между руками, сильно темнеют. Предполагается, что с помощью этой «светящейся губной помады» самки приманивают самцов.

Разведут руки в стороны или вообще закинут за голову — подадут световой сигнал, сведут руки — закроют свет темной перепонкой. Как судовой сигнальный прожектор! Так вот, этот орган свечения развивается у них из окружающей рот мускулатуры. У молоди и самцов никакого следа светящегося органа нет⁴.

Вероятно, нечто подобное произошло в ходе эволюции и с присосками плавниковых осьминогов. Только у них светятся, по-видимому, все виды и оба пола. По мнению исследователей, свечение выполняет две функции: внутривидовое опознавание и привлечение потенциальных жертв, мелких веслоногих ракообразных. Веслоногие рачки хорошо приманиваются слабым светом, а зеленовато-голубой свет плавниковых осьминогов дальше всего проникает сквозь водную толщу. Прикоснувшись к присоске, рачок попадает в слизистую пленку, выделяемую железами присоски и растянутую на усиках⁵. Облепленную слизью добычу осьминог отправляет в рот.

По словам Э.Уиддера, ставротейсы (его длина с руками достигает трети метра), питающийся рачками меньше миллиметра, походил бы на енота, который виделся ловить комаров. Но если бы комары летели на свет подобно бабочкам, такой способ питания вполне имел бы смысл!

² Несис К.Н. Глубоководные осьминоги из иллюминатора подводного аппарата // Природа. 1983. №11. С.23—25.

³ Johnsen S., Balser E.J., Widder E.A. // Nature. 1999. V.398. №6723. P.113—114; Internet <<http://www.eurekalert.org/releases/hboi-hbs031599.html>>

⁴ Herring P.J., Dilly P.N., Cope C. // J. Zool. London, 1987. V.212. №2. P.245—254.

⁵ Vecchione M., Young R.E. // Vie et Milieu. 1997. V.47. №2. P.101—110.

Морж на севере архипелага Новая Земля

Н. В. Вехов,

кандидат биологических наук

Российский научно-исследовательский институт культурного и природного наследия
Министерства культуры РФ и РАН
Москва

АТЛАНТИЧЕСКИЙ морж (*Odobenus rosmarus*) — характерный представитель фауны морских млекопитающих западного сектора Арктики. Еще 200—300 лет назад его ареал в Европе охватывал акватории Белого, Баренцева и Карского морей вплоть до архипелага Северная Земля, а лежбища моржа были известны на Шпицбергене, а также некоторых островах Белого и Баренцева морей. В XIV—XVIII вв. в результате интенсивного промысла этот вид ластоногих в Белом море, у Шпицбергена и в некоторых районах Северной Атлантики постепенно исчез¹. В других районах западной Арктики (например, близ архипелагов Земля Франца-Иосифа и Новая Земля) сохранились лишь крайне малочисленные субпопуляции, которые особенно со второй половины XIX в. до конца 30-х годов нынешнего столетия нещадно истреблялись норвежскими и русскими зверобоями. Све-

дений о состоянии этих субпопуляций моржа в последние десятилетия, к сожалению, мало².

Итак, к середине XX в. морж стал редким видом, его ареал из некогда сплошного превратился в точечный — остались лишь локальные популяции в труднодоступных и мало посещаемых человеком местах. Для сохранения атлантического моржа как вида его включили в красные книги РСФСР (1983), СССР (1984) и МСОП (Международного союза охраны природы).

Несомненно, новые сведения о численности, лежбищах и встречах отдельных животных островных субпопуляций моржа в западной части Русской Арктики представляют значительный интерес. Обсуждению этих вопросов, связанных с акваторией Баренцева и Карского морей, омывающих Северный остров Новой Земли, где, по устным сообщениям участников различных экспедиций, экипажей судов и сотрудников полярных станций, до сих пор сохранились небольшие лежки моржа и можно еще обнаружить скопления этого вида морских млекопитающих, посвящена настоящая статья.

Первую информацию о моржах и моржовых лежбищах на севере архипелага Новая Земля сообщили голландские путешественники в конце XVI в., когда после экспедиций (1594—1597) Виллема Баренца его главный биограф Геррит де Фер опубликовал книгу, рассказывающую о морских приключениях у берегов архипелага³.

Во время первой экспедиции европейцы проникли до современного мыса Желания и открыли два лежбища — одно на о. Вильгельма (7 июля 1594 г.), а другое — на западном острове из группы Больших Оранских о-вов, расположенных у северного побережья Северного острова Новой Земли (28 июля 1594 г.). Г. де Фер так описывает впечатление от близкой встречи голландцев с моржами на Оранских о-вах: «Пристав к одному из этих островов, они нашли там около двухсот морских чудовищ, катавшихся на песке на солнце, которых сами они называют *Walruschen* — моржами. Эти морские чудовища гораздо больше быков, живут в море, кожу имеют наподобие тюленей, с коротким волосом, пасть их подобна львиной; они держатся по большей части на льду, имеют четыре лапы и лишены

© Н. В. Вехов

¹ Боговой И. Морской зверобойный промысел на севере. Архангельск, 1923; Старков В. Ф. Очерки истории освоения Арктики. Т. 1.: Шпицберген. М., 1998; Чапский К. К. // Тр. Арктического ин-та. 1936. Т. 67. С. 10—62; Он же. // Пробл. Арктики. 1939. № 3. С. 62—69; Gjertz I., Hansson R., Wiig O. // Environmental studies from Franz Josef Land, with emphasis on Tikhaia Bay, Hooker Island. Oslo, 1992. P. 67—81.

² Кондаков А. А., Зырянов С. В. Атлантический морж // Среда обитания и экосистемы Земли Франца-Иосифа (Архипелаг и шельф). Апатиты, 1994. С. 189—191; Gjertz I., Hansson R., Wiig O. Ibid.

³ Фер Г. де. Плавание Баренца (*Diarium Nauticum*) 1594—1597 / Под ред. В. Ю. Визе. Л., 1936.



Гравюра работы голландских мастеров конца XVI в. с изображением охоты на моржей на одном из Больших Оранжевых о-вов. (Из книги Г. де Фера.)

морж чуть не вонзил зубы в корму лодки, стремясь притянуть ее к себе, но наши подняли крик, и он в испуге удалился, подхватив опять своих детенышей»⁴.

Во время возвращения из своего последнего, третьего плавания к берегам Новой Земли голландцы наблюдали еще два крупных скопления моржей на льдах — на широте южнее мыса Нассау (28 июня 1597 г.) и у берега п-ова Адмиралтейства (20 июля 1597 г.). Численность животных в каждом из них была значительной. Г. де Фер по этому поводу замечает, что южнее мыса Нассау «плыли вдоль припая, недалеко от земли, и увидели такое множество моржей, лежащих на льду, какого

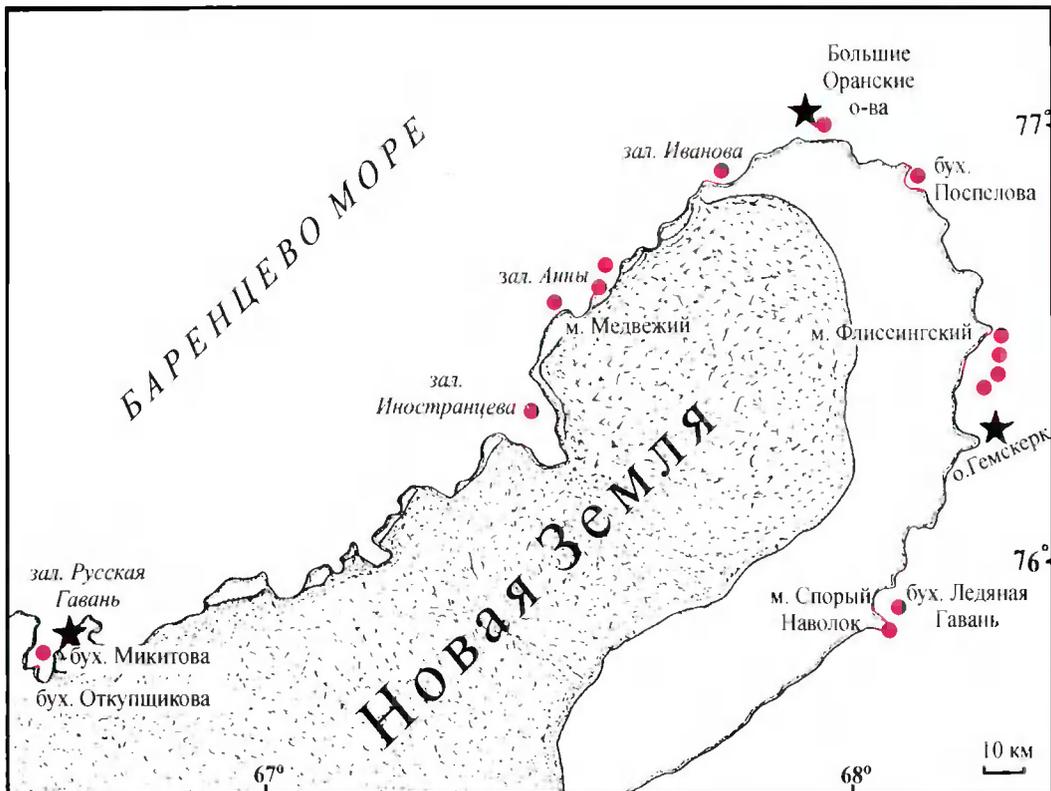
раньше никогда не видели, да и нельзя было сосчитать», а у п-ова Адмиралтейства «увидели около 200 моржей, лежащих на льдине. Плывая рядом, мы вспугнули их. Они стремительно поплыли к нам и со страшным ревом окружили лодки»⁵.

По-видимому, численность моржа у Новой Земли долго еще оставалась высокой, поскольку до XVIII в., по историческим документам, здесь сохранялся специальный вид промысловой деятельности беломорских и архангельских поморов и ненцев — моржовый промысел. От одного забитого животного обычно получали 160—250 кг сала, а иногда — до 450 кг. Кожей и моржовыми клыками (так называе-

ушей; убить их можно с трудом, только ударом по вискам; производят они одного или двух детенышей. Если промышленники случайно застанут их на ледяных глыбах с детенышами, то моржи бросают их в воду, потом спрыгивают в воду сами, подхватывают детенышей лапами и, то погружаясь, то всплывая, ускользают. А если они хотят сопротивляться, то, бросив детенышей, с огромною силою плывут к лодке, как это раз испытали наши, находясь в немалой опасности. Именно

⁴ Там же. С.65.

⁵ Там же. С.252, 268—269.



Карта-схема выявленных лежищ моржа (отмечено звездочками), временных задержек на суше и плавающих льдах, встреч одиночных животных в воде (показано цветом).

мым «рыбим зубом») торговали на ярмарках в Мезени, Архангельске, Пустозерске и других северных городах⁶. Из кожи изготавливали вожжи для конной упряжи, ремни для карет и иные изделия, клыки служили сырьем для косторезных работ, из вытопленного сала получали ворвань, мясо использовалось в качестве приманок в песцовые капканы. Лишь с резким падением численности зверя специальный моржовый промысел в XVIII в. прекратился,

но его попутно продолжали добывать вплоть до середины XX в.

Поморы, ненцы, а позднее и норвежские зверобой, вели беспощадное истребление моржа на суше и в воде. Нормы и объемы добычи у них были неодинаковы. Так, в середине 60-х годов прошлого века промысловики из русских поселений Беломорья (Кеми, Калгалакши, Гридино, Шуи, Жизны, Сумского Посада, Колежмы, Архангельска и других населенных пунктов) добыли на Новой Земле — в губах Баренца, Крестовой, Нехватова, проливе Маточкин Шар — до 600 зверей, а норма добычи у поморов на одно судно была от 10 до 50 моржей. В то же время у норвежцев норма добычи моржа на одно промысловое судно превышала сотню го-

лов. Норвежские зверобой вели активный промысел вдоль восточных берегов Новой Земли и в акватории Карского моря, удаляясь от берега на многие десятки километров. Отличались и способы промысловой добычи моржа. У поморов существовали два вида моржовых промыслов — береговой, когда обсохших и сонных животных на лежищах кололи специально приспособленными копиями-спицами, и водный, при котором с лодок метали в зверя гарпун с длинным линем и поплавком⁷. Ружейный же способ добычи животных они стали применять только с середины XIX в. В 30-х годах нашего столетия норвежцы пользовались малоэффектив-

⁶ Боговой И. Цит. соч.

⁷ Там же.

ным, мягко говоря, а скорее — варварским способом добычи моржа, выходя на охоту на современных судах, моторных катерах и вооружившись мощными ружьями. При этом до 40% отстрелянных зверей тонуло⁸.

Сведений о численности зверя в регионе в XIX — начале XX в. немного. Об этом косвенно можно судить лишь по объемам его добычи. Так, по данным ежегодного «Обзора Архангельской губернии», представляемого губернатором императору, в 1909—1914 гг. всего на береговых промыслах Новой Земли, Вайгача и Колгуева охотники-зверобойи и колонисты в становищах добывали до 32 моржей за промысловый сезон. Однако норвежцы по-прежнему добывали много зверя (по несколько сотен голов), но они промышляли в море (во льдах и у кромки льдов). В 30-х годах К.К.Чапский в своей известной работе «Морж Карского моря» отметил, что в районе архипелага морж концентрируется только вдоль северных побережий — от залива Иностранцева на западе до мыса Выходного на востоке, а главные его лежбища находятся на Оранских о-вах и о.Гемскерк. В ходе промысловых экспедиций того времени лежки на суше, глетчерных льдинах и мелкобитом льду отмечены на всем протяжении этого участка ареала, протянувшегося от берега в сторону Карского моря на 50 морс-

ких миль. Свидетельства массового забоя моржа (кости, разбитые и простреленные черепа) до сих пор встречаются вблизи промысловых изб и пунктов на о-вах Пахтусова, мысах Константина и Желания, Больших Оранских о-вах, на побережье близ мыса Бисмарка и в других точках, где в 20—30-е годы шел отстрел⁹. Некоторая информация о морже у крайней оконечности Новой Земли содержится в работах В.М.Антипина¹⁰.

Этими данными исчерпывается информация о морже на севере Новой Земли. Современное же состояние поголовья, местоположение его лежищ и устраиваемых залежек неизвестны, так как за последние 50—60 лет работ по моржу здесь не проводилось. Поэтому в ходе предпринятых во второй половине августа — первой половине сентября 1998 г. Морской арктической комплексной экспедицией (МАКЭ) исследований специальный раздел был посвящен выявлению лежищ и временных залежек моржа на суше и льду, поиску животных на воде, оценке их примерной численности вдоль северной оконечности Северного острова архипелага Новая Земля от залива Русская Гавань (карское побережье). Обследование побережья проводили в пеших маршрутах, а прибрежных акваторий — с научного судна (экспедиция работала на научно-исследовательском судне «Иван Петров») и моторной баржи (плашкоута). Успешному про-

ведению учетных работ и наблюдениям над животными благоприятствовала тихая, безветренная и солнечная погода, державшаяся в районе исследований с последней декады августа как раз до середины сентября. Удачно были выбраны и сроки работ, поскольку из публикации Чапского известно, что именно в это время года морж начинает «подтягиваться» к побережью архипелага и устраивать здесь массовые залежки.

Морж был обнаружен практически во всех пунктах работ экспедиции — на береговой суше, на льдах и в воде. Были выявлены два лежища (около 200 особей на каждом) на восточном побережье одного из Больших Оранских о-вов. На северо-восточном побережье бухты Микитова (залив Русская Гавань) небольшая группа животных образовала лежище на галечнике, у брошенного причала, среди затопленной техники и железных конструкций.

Наибольший интерес представляет лежище на западном острове из группы Больших Оранских о-вов, которое было открыто более 400 лет назад первой экспедицией Виллема Баренца. Любопытно, что в 1998 г. на этом небольшом острове (всего около 1 км в диаметре) мы насчитали примерно столько же моржей, сколько увидели голландцы в июле 1594 г.

Лежище было расположено в юго-восточной части острова на песчано-галечной косе и состояло из двух локальных групп животных: у основания косы, под высоким обрывистым берегом, мы насчитали 74 особи, а в средней части — 115 зверей. Об этом же лежище и численности животных

⁸ Чапский К.К. Тактика и техника советского судового зверобойного промысла в Арктике // Материалы по изучению Арктики. Л., 1934. №5; Он же. // Бюл. Арктического ин-та. 1936. №8—9. С.451—454; Он же. // Тр. Арктического ин-та. 1936. Т.67. С.10—62; Он же. // Пробл. Арктики. 1939. №3. С.62—69.

⁹ Чапский К.К. Цит. соч.; Он же. Морские звери Советской Арктики. М.;Л., 1941; Gjertz I., Hansson R., Wiig O. Ibid.

¹⁰ Антипин В.М. // Сов. Арктика. 1938. №8. С.98—101; Он же. / Пробл. Арктики. 1938. Вып.2. С.153—171.



Западный остров из группы Оранских о-вов — скалистый останец у берегов Новой Земли. Здесь расположено одно из двух самых крупных современных лежбищ моржа в регионе.

Здесь и далее фото автора



Одна из двух групп отдыхающих и спящих моржей на лежбище на Больших Оранских о-вах.



Скалистые берега острова облюбовали не только моржи, но и птицы, устроившие здесь базар.



Прибрежные пляжи из гальки и крупных окатанных валунов — излюбленные места временных лежек моржи на севере Новой Земли.

в 200 голов упоминает Чапский для 20—30-х годов, когда он принимал участие в судовом промысле (1934), отмечая, что звери залегали и западнее, на выступающих из моря окатанных каменных глыбах. На выступах-карнизах и в небольших пещерах скалистого массива острова с обрывистыми (до 20—30 м) берегами устроили крупный птичий базар толстоклювые кайры, моевки, чистики и бургомистры.

Остров Гемскерк, на котором было обнаружено другое лежбище моржей, — еще меньших размеров (не более нескольких сотен метров в диаметре). Расположен он в километре к северу от мыса Константина и представляет собой скалу с плоской вершиной и обрывистыми берегами высотой до 15—25 м, где гнездятся моевка, толстоклювая кайра, бургомистр и чистик. Около 200 животных плотной группой обосновались на пляже из гальки и небольших окатанных валунов, в расщелине между обрывами в северной части острова, а еще несколько — лежали на плавающих у берегов острова льдинах.

В течение всего плавания на судне «Иван Петров» вдоль карского побережья Северного острова, на участке от мыса Флиссингского и до траверза устья р.Уще-

лье, мы наблюдали 89 зверей на движущихся льдинах. Кроме лежбищ, где скапливались значительные количества животных, были обнаружены и временные залежки: на юго-западном побережье залива Анны, на галечнике, отмечены три отдыхающих моржа. Видели моржей и в воде: около 20 особей в акватории Русской Гавани, одного моржа в заливе Иностранцева и еще двух — в море, северо-восточнее залива, четырех — в заливе Анны, 20 — в заливе Мелком и близ Оранских о-вов, трех — в бухте Поспелова юго-восточнее мыса Желания. Во время предыдущих экспедиций на Новую Землю (например, в августе 1995 г.) мне пришлось наблюдать до 10 особей в акватории залива Иванова, а другие участники экспедиции в тот год обнаружили лежку из нескольких десятков особей на прибрежных камнях близ мыса Спорый Наволок. Кстати, здесь в 20—30-х годах, по данным Чапского, регулярно образовывались лежки моржа.

* * *

Полученные сведения — первая достоверная информация о состоянии поголовья атлантического моржа на севере архипелага Новая Земля за последние 60 лет.

Сопоставляя эти сведения с опубликованными в 30-х годах материалами Чапского, можно уверенно говорить о том, что ареал атлантического моржа на севере архипелага и положение его основных лежбищ не изменились. Ныне скопления животных на суше (лежбища и временные залежки) наблюдаются именно в тех местах, где их промышляли прежде и где они впервые были отмечены более 400 лет назад участниками голландских экспедиций. Наибольшие скопления до сих пор сохраняются на Больших Оранских о-вах и о.Гемскерк. Постепенное восстановление численности этого уникального вида морских млекопитающих в настоящее время, возможно, произошло из-за отсутствия в обследованном районе человека: эта территория граничит с Центральным полигоном РФ, и сюда доступ гражданских лиц крайне ограничен. Такая непреднамеренная охрана этого района положительно сказалась и на общем состоянии природных комплексов Северного острова Новой Земли. Здесь до сих пор многочисленен белый медведь, встречается северный олень, довольно много колоннальных птиц. Обычным зверем у северных берегов острова становится и атлантический морж.

«Три ущелья» — крупнейший гидротехнический проект мира

Н.Н.Митина



Наталья Николаевна Митина, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института водных проблем РАН. Область научных интересов — охрана и рациональное использование береговой зоны, дождевых природных комплексов.

В МАЕ 1998 г. мне удалось побывать в Китае. В г.Ухани состоялось международное совещание, посвященное проблемам управления водными ресурсами. На нем обсуждался и самый грандиозный гидротехнический проект мира — сооружение комплекса «Три ущелья» на крупнейшей реке КНР Янцзы.

Ее длина 6300 км, площадь водосбора 1.8 млн км² (19% территории КНР). Река берет начало в ледниках Тибета, на склонах хребта Улан-Ула, на высоте 5800 м над ур.м., и впадает в Восточно-Китайское море. Объем годового стока р.Янцзы 976 млрд м³ (одна треть от общих водных ресурсов Китая). Большая часть площади бассейна реки расположена в субтропиках. Климат здесь муссонный, среднемесячная температура воздуха колеблется в течение года от 6 до 22°С. Преобладают ливневые, главным образом летние, осадки, их норма 1100 мм/год.

На верхнем участке Янцзы по крутизне падения и характеру речного ложа — типично горная река (средний уклон русла около 2°). В среднем течении она проходит по Сычуаньской впадине, окруженной высокими горами. Здесь уклон и скорость течения реки гораздо меньше. Стремнины встречаются преимущественно между г.Чунцином и областным центром провинции Хубэй г.Ичаном, где на расстояние 650 км приходится 25 порогов, затрудняющих судоходство. Река течет через многочисленные ущелья, прорезающие горы на глубину до нескольких сотен метров.

Особой известностью пользуются ущелья, расположенные одно за другим между городами Финцзя и Ичаном: Цюйтанся, Уся и Силинся общей протя-



Место строительства плотины Санься.

женностью более 90 км, прорезанные в палеозойских известняках краевого хребта. Этот участок Янцзы так и называется — Три ущелья (Санься). Здесь река сужается до 200 м, она зажата почти отвесными стенами, которые местами поднимаются над водой до 500—600 м. По оцененным запасам гидроэнергии ущелья Санься не имеют себе равных в Китае.

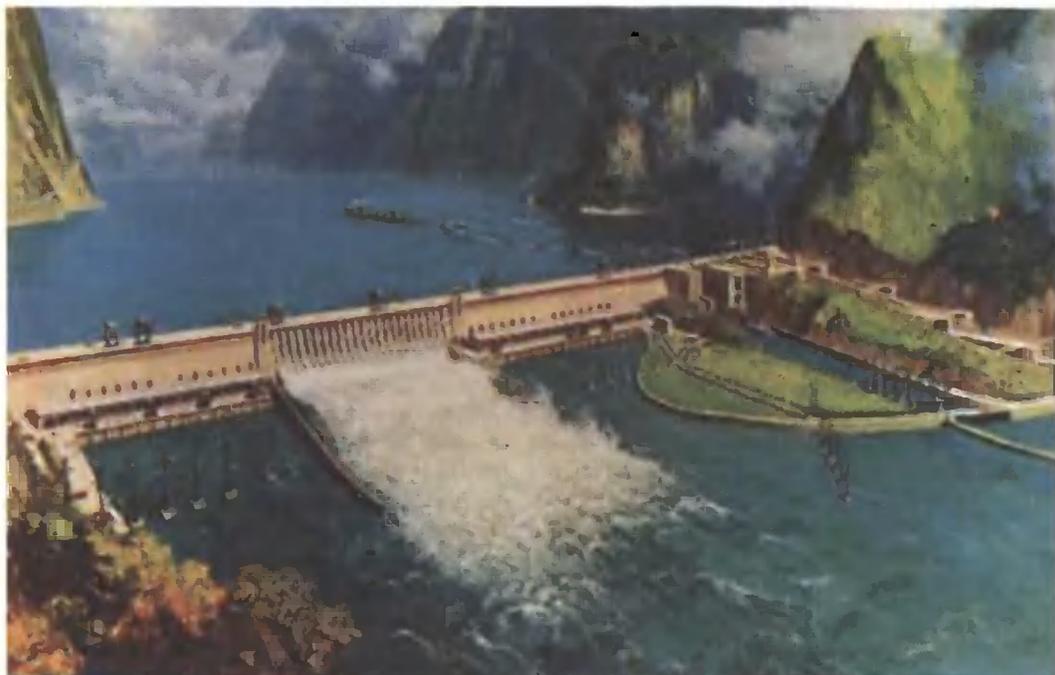
Ниже Ичана река выходит на низменность Центрального Китая и до устья имеет небольшой уклон (0.02—0.008°) и широкую долину. Там, где бурные паводки изливаются на равнину, подъем уровня воды в реке может превышать 17 м, поскольку пропускная способность русла от Цзинцзяна до Ухани (60—70 тыс. м³/с) явно недостаточна при расходе в 110 тыс. м³/с. В результате река разливается на десятки километров, несмотря на то, что равнины нижней Янцзы защищены дамбами, расположенными в несколько рядов (общей длиной 33 тыс. км). Наводнения приносят огромный материальный ущерб и

приводят к многочисленным человеческим жертвам.

Судя по письменным источникам, приблизительно за 2100 лет (с 185 г. до н.э. по 1911 г.) произошло 214 наводнений, т.е. в среднем раз в каждые 10 лет. В первой половине этого столетия, в 1931, 1935, 1949 гг. и 1954-м произошли четыре катастрофических разлива реки (в 1931 г. погибло 145.5 тыс. человек, а в 1935 г. — 142 тыс.).

Начиная с основания КНР в стране уделялось большое внимание разработке мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов Янцзы. В 1985 г. был подготовлен план комплексного развития долины реки, в котором ключевая роль отведена проекту «Три ущелья», основные идеи которого обсуждались начиная с 20-х годов нашего столетия¹. Этот план дал начало проек-

¹ Zhang H. Issues in China's Water Resources // Proceeding of International Workshop on barriers to sustainable management of water quantity and quality. 12—15 May 1998. Wuhan, 1998.



Так будет выглядеть гидротехнический комплекс Санься после заполнения водохранилища. Макет.



Строительство плотины, май 1998 г. Вид со смотровой площадки.

Фото автора

тированию и строительству самого большого гидротехнического комплекса в мире.

Основную его часть составляют плотина, две приплотинных электростанции, сооружения для пропуска судов и водохранилище. Высокая бетонная плотина строится в середине ущелья Силинся, в 38 км вверх по течению Янцзы от Ичана, на участке с широкой долиной и прочным гранитным основанием. Общая площадь водосбора реки в месте ее расположения составляет около 1 млн км², средний ежегодный объем стока — 451 млрд м³, объем твердого стока — 5—12 млн т.

Длина плотины 2310 м, высота 185 м (максимальная отметка уровня 175 м). В самой плотине размещают две электростанции. На левой стороне будут располагаться 14 турбогенераторов, а на правой — 12, по 700 МВт каждый, установленная мощность всей ГЭС составит 18 200 МВт со среднегодовой выработкой 84.7 ТВт·ч.

Сооружения для пропуска судов будут состоять из судоподъемника грузоподъемностью 3 тыс. т и двухниточно-пятикамерного шлюза грузоподъемностью 10 тыс. т, расположенных у левого берега. Кроме того, сооружается временный шлюз, предназначенный для использования в период строительства.

Водоохранилище Санься будет огромным резервуаром речного типа, позволяющим осуществлять сезонное регулирование стока. Его нормальный подпорный уровень (НПУ) составит 175 м, уровень предпаводковой сработки — 145 м, горизонт мертвого объема — 155 м. Объем водохранилища при НПУ 39.3 млрд м³, предпаводковый объем 22.2 млрд м³. Площадь водного зеркала 1084 км², полная длина приблизительно 600 км, средняя ширина 1.1 км. Объем скальных и земляных работ составляет 80 млн м³, бетонных — 26 млн м³; вес металлических конструкций² 257 тыс. т.

Грандиозность проекта позволяет многим сравнивать его с Великой Китайской стеной. Специалисты намереваются извлечь максимальную выгоду из строительства и в то же время разработать эффективные меры для уменьшения неизбежных отрицательных экологических последствий от создания гидроузла.

ЧТО ОБЕЩАЕТ ПРОЕКТ?

Важнейшая цель проекта «Три ущелья» — **зарегулирование стока** в среднем и нижнем течении Янцзы, которое должно обеспечить безопасность населения и функционирование предприятий региона, где проживает около 75 млн человек и имеется приблизительно 7 млн га сельскохозяйственных угодий. Зарегулирование стока предотвратит также размыв 1.53 млн га плодородных земель.

В настоящее время средних и небольших наводнений можно избежать благодаря действию построенного в 1983 г. гидроузла Гэчжоуба в Ичане, который вырабатывает 15.7 млрд кВт·ч электроэнергии в год. После завершения строительства гидроузла Санься опасность наводнений в нижележащих равнинах сократится еще в 10 раз.

Уменьшится также негативное воздействие на оз.Дунтинху, которое ныне интенсивно заносится. В течение года озеро принимает около 40% стока реки, в период паводка — до 60%. Речные наносы сильно сократили размеры озера, которое не образует, как прежде, сплошного водоема, а состоит из множества небольших озер, связанных между собой протоками.

Ежемесячные расходы воды и амплитуда стока после заполнения водохранилища останутся в пределах естественных, кроме октября, когда сток несколько уменьшится, и с января по май, когда он слегка увеличится. Таким образом, влияние плотины на гидрологический режим в нижнем бьефе не будет существенным.

Помимо зарегулирования стока проект «Три ущелья» направлен на по-

² Yangbo C. Three Gorges Project and the sustainable development of regional economy // Ibid.; Changming L. at al. Water problem strategy for China's 21st century. Beijing, 1996.



Схема расположения гидротехнического комплекса «Три ущелья» на р. Янцзы.

лучение дешевой и экологически чистой электроэнергии, улучшение условий судоходства, развитие туризма и индустрии отдыха, переброску избытка паводковых вод на север, в засушливые области. Кроме того, строительство гидроузла привлекает огромные инвестиции к региону, что должно способствовать его экономическому развитию.

После завершения строительства вода Янцзы будет использоваться для **производства электроэнергии** сначала в ГЭС Санься, затем будет регулироваться плотиной Гэчжоуба и, наконец, использоваться для получения электроэнергии в ГЭС Гэчжоуба. В целом электростанции Санься и Гэчжоуба будут вырабатывать ежегодно 105 ТВт·ч.

Поскольку Три ущелья занимают весьма выгодное географическое положение и находятся в пределах тысячи километров от многих индустриальных центров, построенный в этом месте комплекс станет центральным узлом всей энергетической сети в стране. Электроэнергия по высоковольтным линиям будет передаваться в Шанхай, Хубэй и Сычуань. Гидроузел Санься не только объединит тепловую, атомную и гидроэнергию страны, но также позволит постоянно модернизировать качество и эффективность энергосети.

ГЭС Санься станет ежегодно производить 84.7 ТВт·ч электроэнергии. Расчеты показали, что в случае сжигания угля на ТЭС для производства такого же количества энергии в окружающую среду поступило бы 120 млн т CO_2 , 2 млн т SO_2 , 10 тыс. т CO , 370 тыс. т оксидов азота в год.

С усовершенствованием транспортных путей района Санься будут сформированы условия для устойчивого развития экономики юго-запада, центра и востока Китая. В настоящее время водный путь длиной 660 км между Чунцином и Ичаном проходит через горные ущелья с перепадом высот в 120 м. На этом отрезке имеется 139 опасных мелей и быстрин, 46 участков с одноостронным движением судов, 25 участков, где крупные, полностью загруженные суда требуют береговой тяги. После завершения строительства условия для судоходства выше плотины существенно улучшатся.

От Шанхая до Чунцина (около 1 тыс. км) смогут проходить буксиры грузоподъемностью до 10 тыс. т, ежегодный односторонний объем грузоперевозок судов составит 50 млн т (сейчас — 10 млн т).

После создания гидротехнического комплекса будет значительно модернизирован дорожный транспорт: предполагается строительство скоростной автотрассы Ухань—Ичан—плотина Санься, время в пути от Ухани до Ичана



Ущелье Цюйтаня.



Эти дома и рисовые поля будут затоплены.

*На теплоходе в ущелье Уся.
Фото автора*



сократится от 10 до 4 часов. Будут модернизированы шоссе, соединяющие Ичан с другими городами региона Три ущелья. Кроме того, намечается увеличение пассажирских железнодорожных перевозок: железная дорога соединит Ичан со всеми главными городами Китая. В Ичане планируется также строительство международного аэропорта.

Влияние гидротехнического комплекса «Три ущелья» не ограничится центральным регионом Китая, но распространится далеко на север, в засушливые регионы. За последние несколько десятилетий в Северном Китае очень быстро развивались промышленность и сельское хозяйство. Вместе с демогра-

фическим взрывом это спровоцировало тяжелый водный кризис. Нехватка водных ресурсов на севере страны составляет приблизительно 70 млрд м³ воды в год, что препятствует дальнейшему экономическому и социальному развитию региона. При такой ситуации имеет место неумеренная эксплуатация водных ресурсов, особенно грунтовых вод³.

Кардинальным решением проблемы дефицита водных ресурсов северного Китая была бы, по мнению китайских специалистов, **переброска внутренних вод с юга**. Еще в конце VI —

³ Дисинь С. Экологические проблемы Китая. М., 1990.

начале V в. до н.э. был построен канал, соединяющий Янцзы и Хуанхэ. Он проходил западнее трассы современного Великого канала, используя речные русла и систему озер, ныне обмелевших и большей частью не сохранившихся⁴. Один из нынешних проектов переброски вод из р.Янцзы в р.Хуанхэ — составная часть проекта «Три ущелья». Предполагается, что вода из водохранилища Санься сначала потечет по скальному туннелю, пробитому через горный хребет Циньлин, затем самотеком в водохранилище Даньцзянкоу (на реках Даньцзян и Ханьшуй в провинциях Хэнань и Хубэй), далее по скальному же туннелю — на север и по притоку — в р.Хуанхэ, и, наконец, — в Пекин. Общая длина туннелей составит около 120 км.

Еще до завершения строительства гидроузла ежегодно будет перебрасываться приблизительно 23.7 млрд м³ воды, а по завершению строительства — 70 млрд м³.

Строительство гидроузла уже сейчас стимулирует развитие **туризма**. Все больше людей посещает район Трех ущелий и участок, где возводится плотина, причем эта тенденция растет по мере осуществления проекта.

Район Санься издревле считался самым «романтичным» в Китае и был местом отдыха императоров и знати⁵. Он необыкновенно привлекателен для туризма: из 44 самых живописных мест Китая, в окрестностях Трех ущелий расположено более половины. В настоящее время район известен всему миру: решением ЮНЕСКО Три ущелья включены в список Всемирного природного и культурного наследия человечества.

После завершения строительства уровень воды в верхнем бьефе поднимется на 175 м. Однако крутые каньоны, включая речную долину, останутся практически не затронутыми. Затоплены будут только основания клифов — отвесных стен каньонов, высота которых ко-

леблется от 800 до 1100 м. Живописнейшие 12 пиков в ущелье Уся поднимаются на высоту около 1 тыс. м, а самый красивый пик Богини превышает 900 м. Поэтому местные пейзажи не потеряют нынешней привлекательности.

Создание водохранилища затронет 44 археологических и исторических памятника. Однако самые уникальные из них, такие как Гост в провинции Сычуань, Байдичэн (Белый Императорский Дворец) в провинции Фынцзе и храм Хуанлин в Ичане, останутся незатронутыми, так как они расположены выше отметки уровня будущего водохранилища. Храмы Чжанфэй и Цюйян и другие памятники древности, которые окажутся ниже уровня воды, будут перемещены выше по склону.

По общему мнению, формирование искусственного озера среди отвесных скал только добавит красоты Трех ущельям, поскольку рассеянные здесь исторические объекты и памятные места станут легко доступными. Например, улучшатся судоходные условия для посещения уникального по красоте места — Малых Трех ущелий, расположенных на р.Данян, притоке р.Янцзы.

Общий объем инвестиций за весь период строительства, выраженный в ценах конца мая 1993 г., превзойдет 200 млрд юаней, т.е. около 20 млрд амер. долл. Вокруг гидроузла формируется огромный рынок строительных материалов, транспорта, финансов и услуг, что будет стимулировать экономическое развитие региона. Ичан станет центром этого рынка, который охватит провинции Хубэй и Сычуань и объединит восточный Китай со всей страной в целом.

По проекту 40 млрд юаней будет потрачено для **переселения людей** из области затопления. С 1985 до 1993 г. правительство уже вложило 1.2 млрд юаней, на недавно освоенных и культурных равнинах в экспериментальной области площадью 14 тыс. га построено 1500 объектов: зданий, мостов, дорог и водопроводов. Сюда переселили 30 тыс. человек и переместили 100 фабрик. Этот опыт доказал, что ориентируемая на устойчивое развитие политика пере-

⁴ Физическая география Китая. М., 1964.

⁵ Dakang Z. et al. Water balance in the North China plain and water transfer from South to North. Beijing, 1985; Three Gorges of the Yangtze River. Beijing, 1997.

селения дает возможность людям освободиться от тысячелетней бедности.

ВОЗМОЖНЫЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Участок строительства плотины имеет площадь около 16 км², но общая площадь затопления, подтопления и отведения земель для переселенцев из 21 населенного пункта составит 55 тыс. км².

Ложе водохранилища займет территорию в 632 км² с неоднородным рельефом. На выровненные участки долины приходится 4% общей площади, холмистые участки — 22%, гористые — остальные 74%. Леса здесь в значительной части вырублены, и развивается сильная эрозия почв. Сейчас земли, которые уйдут под воду, используются в основном в сельскохозяйственных целях: по данным 1992 г., водохранилище затопит 25.9 тыс. га полей и садов.

Возникает необходимость переселить 846 тыс. человек, а учитывая прирост населения, — более 1 млн. Чтобы избежать или смягчить в максимально возможной степени последствия этого шага необходим тщательно отработанный план, учитывающий потребности населения и экономические аспекты вовлечения в хозяйственную деятельность новых территорий.

В результате осуществления проекта «Три ущелья» загрязнение вод увеличится, поскольку уменьшится скорость течения в реке. Уже сейчас почти все города, расположенные по берегам Янцзы, загрязняют реку, однако в ее устьевой области и эстуариях качество воды неплохое. И все же перелов и загрязнение привели к уменьшению рыбных ресурсов. В последние десятилетия резко сократилась продуктивность, уменьшился вес особей, ухудшилось качество ценных промысловых видов рыб. Объем сточных вод, которые поступят в водохранилище, превысит 1.2 млрд т/г. В связи с этим предполагается строительство более мощных и надежных очистительных систем.

Берега вдоль всего русла Янцзы, а также устьевой зоны и дельты страда-

ют от сильной эрозии почв. Только в сычуаньской провинции ежегодно исчезают 1.027 млн т почв. Чтобы приостановить этот процесс, необходимо прекратить вырубку леса вдоль всего русла Янцзы.

Район Три ущелья относится к субтропической влажной зоне Центрального и Южного Китая, подзоне смешанных широколиственных лесов, листопадных и широколиственных вечнозеленых лесов долины среднего и нижнего течения р.Янцзы. Только там еще встречаются такие редкие хвойные реликтовые виды третичного периода, как метасеквойя (*Metasequoia glyptostroboides*) из семейства китайских хвойных или *Cathaya argyrophylla* из семейства сосновых.

Велико разнообразие диких животных, редких и исчезающих видов. К ним относятся *Rhinopithecus roxillanae* (местное название — золотая обезьяна), большая панда, китайский речной дельфин, белый аист, едва ли не самая красивая из всех известных птиц — китайский трагопан из рода фазановых; эндемик р.Янцзы — китайский аллигатор. В бассейне реки водится 300 видов рыб, из которых треть является эндемичными. К ним относятся китайский осетр и близкий к осетровым китайский веслонос (*Psephurus gladius*).

В районе водохранилища имеется 47 редких и исчезающих видов растений, находящихся под охраной государства, однако, по данным китайских биологов, большинство их произрастает на высоте от 300 до 1200 м над ур.м. и не страдает. Для защиты редких животных типа китайского речного дельфина и китайского осетра проводятся мероприятия по поддержанию их естественных запасов и искусственному разведению⁶.

* * *

Строительство ведется с конца 1994 г. Подготовительные работы включали расчистку участка, прокладку

⁶ Wang R. Three Gorges Project and the Environment. 12—15 May 1998. Wuhan, 1998. P.15—28.



Белый Императорский Дворец в Байдицане.



Так Дворец выглядит с высоты птичьего полета. Через несколько лет он будет находиться на острове.

Водопад на р.Данян.



подъездных путей, возведение поселков для рабочих, подводку электроэнергии, коммуникаций и т.д. Идет первая очередь строительства: бетонируются места расположения плотины и берега, роется судоходный канал на правом берегу, выкапывается котлован для ГЭС, создаются временный шлюз и судоподъемник на левом берегу. Вторая очередь предусматривает установку первых турбогенераторов ГЭС на левом берегу, продолжение строительства постоянных шлюзов и судоподъемника. В конце 2004 г. водохранилище будет заполнено до отметки 135 м, войдут в строй по-

стоянный судоподъемник и часть турбогенераторов ГЭС. Третья очередь, предусматривающая монтаж всех турбогенераторов, будет так же, как и вторая, длиться шесть лет. Строительство должно закончиться в 2011 г.

В течение наиболее интенсивного периода на стройке будет сконцентрировано приблизительно 40 тыс. человек, включая 25 тыс. рабочих. Это создаст огромную нагрузку на окружающую среду. Так, количество бытовых сточных вод достигнет 6—10 тыс. м³/день, отходов — 43.80 млн м³ (по 92 т бытового мусора ежедневно). Для строительства

второй очереди плотины ежедневно необходимо будет откачивать из котлована до 276 тыс. т воды.

Объем израсходованного в течение строительства угля составит приблизительно 170 тыс. т с ежегодным потреблением до 20 тыс. т. Потребление нефти в среднем составит приблизительно 53 тыс. т/год. Ежедневно во время наиболее интенсивного строительства в атмосферу будет выбрасываться до 1 т/км² пыли, 300 кг сажи и золы, 620 кг оксида углерода, 100 кг оксида азота и 120 кг гидрокарбонатов, а также ежегодно 13 тыс. т газов от сжигания нефти. В день может быть выброшено в атмосферу 320 кг тяжелых элементов, 11 610 кг углекислоты, 7 640 кг оксида азота и 2 160 кг гидрокарбонатов. Уровень шума может достигать 80—100 дБ.

Таким образом, если не будут приняты эффективные меры, в процессе строительства большое количество сточных вод, выхлопных газов и мусора, шумы высокой интенсивности загрязнят и повредят окружающие экосистемы.

В районе Три ущелья распространены пневмония, лептоспироз и малярия. Концентрация на участке строительства большого количества людей, за-

грязнение водных объектов и атмосферы, шумы, тяжелый труд и нелегкие условия жизни могут усилить заболеваемость у рабочих и окрестных жителей. Эта проблема требует внимания властей и серьезных инвестиций.

* * *

Итак, проблем действительно немало, как при любом сооружении гидротехнического объекта. О них, конечно, забываешь, созерцая красивейшие берега могучей китайской реки, величественную картину строительства плотины. Обнадуживает дотошность китайских специалистов, впитывающих опыт гидростроительства в других странах, старающихся сопоставить все «за» и «против», выбрать оптимальную модель развития региона, учесть экологические проблемы.

Мне удалось многое увидеть в Китае, и эта статья в основном написана по китайским материалам. Большую помощь при подготовке этой работы, а также при отборе и оформлении иллюстраций мне оказал студент географического факультета МГУ и сотрудник нашего института Е.Е.Домогацких, за что я ему очень признательна.

КОРОТКО

Недавно в районе Новая Олинда (северо-восточная Бразилия) были найдены отпечатки перьев, принадлежащих птице раннемелового возраста (около 120 млн лет назад).

Когда английские палеонтологи Д.Мартилл и П.Дейвис (D.Martill, P.Davies; Портсмутский университет) рассмотрели находку под электронным мик-

роскопом, то обнаружили в хвостовом пере более 200 пустотелых шариков диаметром около 70—75 мкм. Тщательно изучив шарики, ученые пришли к мысли, что это — яйца клещей, которые паразитировали сперва на родственных птицам динозаврах, а потом сменили хозяина и поселились в оперении первоптиц. По крайней мере размеры и форма этих

красновато-коричневых шариков довольно точно совпадают с теми, что встречаются у современных пернатых. Видимо, укусы паразитов были настолько болезненны, что птица не нашла лучшего способа избавиться от них, как вырвать с корнем все девятимиллиметровое перо из хвоста.

Nature. 1999. V.396. №6711. P.528 (Великобритания).

Конец эпохи фотографии?

В. Г. Сурдин,

кандидат физико-математических наук
Москва

АСТРОНОМЫ были первыми, кто активно стал использовать фотографию в своей работе; вероятно, они же станут первыми, кто полностью от нее откажется и перейдет к новым методам получения и хранения оптических изображений.

Как известно¹, именно астроном Ф.Араго сделал на собрании Французской академии наук 7 января 1839 г. первое публичное сообщение о способе получения оптических картин, который был изобретен Ж.Н.Ньепсом и Л.Ж.М.Дажерром и стал известен как дагерротипия. Тогда же, в самом начале 1839 г., английский астроном Дж.Гершель, увлеченный новым научным методом, впервые применил термины «фотография», «негатив» и «позитив».

Нужно заметить, что астрономы сразу осознали всю мощь нового метода еще и потому, что сами к тому времени уже много лет искали возможность «замораживания света». Задолго до Дагерра Араго вместе с Лапласом и Малюсом пытались получить изображение Луны, спроецировав его с помощью линзы на экран, покрытый хлористым серебром. Успеха эти опыты не имели. Кстати, растворяющее действие гипосульфита на галоидное серебро, т.е. принцип общепринятого теперь способа «фиксации» фотографических изображе-

ний, открыл в 1819 г. Дж.Гершель (разумеется, не случайно).

С появлением фотографии в корне изменилась и сама работа астрономов. Хотя по традиции они продолжали говорить, что «наблюдают» небо, в большинстве случаев они стали заниматься его фотографированием. Огромное значение имело объединение телескопа, спектроскопа и фотокамеры: родился астрономический спектрограф, а с ним и — астрофизика.

Ни одна другая наука не обязана так фотопластинке, как астрономия. Странно, почему фотопластинке до сих пор не поставлен памятник? Впрочем, скоро для этого наступит подходящий момент: похоже, что астрономы станут первыми, кто полностью откажется от фото процесса и перейдет на электронные приемники света. Очевидно, за ними последуют и остальные. Эра фотографии подходит к концу.

А «виной» всему — новые электронные приемники света, не только имеющие более высокую чувствительность, чем фотопластинка, но и позволяющие сразу вводить информацию в компьютер. Прежде всего это полупроводниковые светочувствительные ПЗС-матрицы — приборы с зарядовой связью (ПЗС — русский аналог английской аббревиатуры CCD — Charge Coupled Device). Эти матрицы — основа современных видеокамер. С момента своего рождения они превосходили

фотоэмульсию по чувствительности, спектральному диапазону и прочим качественным характеристикам. Например, квантовый выход² астрономических фотопластинок — всего 2—5%, а у ПЗС-матриц он приближается к 90%. До недавних пор единственным недостатком матриц было малое количество чувствительных элементов — пикселей, отчего полученные с их помощью изображения имели вид шахматной доски. В начале 80-х астрономы взяли на вооружение ПЗС-матрицы размером с ноготь; они содержали около 200×300 элементов, что позволяло фиксировать небольшой участок спектра или небесный объект малого углового размера и незатейливой конфигурации, да и стоили такие приборы гораздо дороже фотопластинок и были недоступны большинству обсерваторий.

Лишь десятилетие назад промышленность создала недорогие ПЗС-матрицы, содержащие 500×600 элементов, что привело к мас-

² Квантовый выход — параметр приемника излучения, характеризующий эффективность регистрации света. Для электронных фотоприемников — это отношение числа зарегистрированных в выходном сигнале отсчетов к числу упавших на вход приемника фотонов. Для фотопластинок выходным сигналом можно считать число почерневших зерен эмульсии на единицу площади, причем для них понятие «квантовый выход» не формулируется столь просто, как для электронных приемников.



Изображение спиральной галактики M51 («Водоворот»), полученное ПЗС-камерой WFC (4096×4096) на обсерватории Рока-де-лос-Мучачос (о.Пальма, Канарские о-ва).

совому производству бытовых видеокамер. Тогда же появились уникальные (и поэтому дорогие) матрицы, насчитывающие 1024×1024 и даже 2048×2048 элементов, что резко усилило зоркость телескопов и эффективность их работы. Теперь эти приборы становятся рядовым оборудованием большинства обсерваторий.

Но и в этой ситуации у фотопластинки оставалось два важных достоинства, позволявших ей легко выдерживать конкуренцию с электроникой. Прежде всего — большая приемная площадь (на одной стеклянной пластинке — гигантское количество светочувствительных элементов). Как известно, «элементом

изображения» фотозульсии служит зерно размером около 25 мкм. Пластинки современных астрографов имеют размер 40×40 см, а иногда даже 50×50 см; значит, они содержат 300—400 млн элементов. А у существовавших до сих пор ПЗС-матриц формата 2048×2048 — «всего» 4 млн пикселей. Следовательно,



Изображение спиральной галактики NGC 253, полученное ПЗС-камерой WF1 (8184x8196) на Европейской южной обсерватории Ла-Силья (Чили).

даже 20-кратное преимущество в чувствительности не позволяло электронным приемникам конкурировать с фотопластинкой в работах по обзору больших участков неба. Кроме этого, фотопластинка служит не только приемником (правда, одноразовым), но и надежным хранилищем информации: в «стеклянных

библиотеках» многих обсерваторий фотопластинки исправно живут уже более 100 лет. В отличие от них электронные приемники света требуют отдельного устройства для хранения данных; до недавних пор это обходилось не так уж дешево, если учесть, что каждый кадр содержит мегабайты информации.

Правда, стремительный прогресс электроники уже несколько лет назад обещал нам в перспективе большие ПЗС-матрицы и дешевые носители данных. Астрономы ожидали к 2000 г. появления телескопов с диаметром зеркала 10 м и ПЗС-матриц с числом пикселей около 4 млн — и то, и другое они получили на несколько лет

раньше³, а в преддверии 2000 г. вступили в строй еще два новых изумительных прибора.

Так, в начале 1997 г. стала работать камера широкого поля (Wide Field Camera — WFC) на 2.5-метровом английском Телескопе им.Исаака Ньютона (о.Пальма, Канарские о-ва)⁴. Она позволяет получать изображение 25'×25', поскольку ее приемная часть состоит из четырех ПЗС-матриц, каждая форматом 2048×2048 элементов, а каждый пиксель такой матрицы имеет размер 15 мкм и «захватывает» на небе участок поперечником 0.37". Как видим, изображение, полученное с таким прибором, содержит 16.8 млн элементов. Это эквивалентно фотокадру, снятому профессиональной узкоплочной камерой.

А в начале 1999 г. на Европейской южной обсер-

ватории Ла-Силья (Чили), на 2.2-метровом телескопе, заработал⁵ новый широкоугольный приемник изображения (Wide Field Imager — WFI). Формат светочувствительной поверхности 8184×8196 пикселей, т.е. чуть более 67 млн элементов, что эквивалентно фотокадру, снятому высокопрофессиональной фотокамерой на пластинку 6×9 см². Астрономическая камера WFI — плод совместной работы инженеров и ученых ЕЮО, Института астрономии им.М.Планка (Гейдельберг, ФРГ) и обсерватории Каподимонте (Неаполь, Италия). В поле зрения этой камеры, достигающем 30'×30', помещается полная Луна. Такой кадр может содержать 140 Мбайт информации — только для его считывания с матрицы в память компьютера требуется 27 с.

Однако европейские астрономы не намерены останавливаться на достигнутом: сейчас в Сьерро-Пара-

раль (Чили) создается новая камера для 2.6-метрового телескопа ЕЮО; матрица этой камеры будет иметь формат 16000×16000 пикселей, т.е. 256 млн элементов. При этом компьютерная память день ото дня дешевеет, а астрономические пластинки (ввиду понизившегося спроса на них) стали дорожать. Итак, похоже, что электроника выиграла конкуренцию с фотопластинкой по всем параметрам!

Учитывая описанные тенденции, многие фирмы уже прекратили выпуск астрономических фотопластинок. Скоро их примеру последует и ведущая в этой отрасли корпорация «Кодак». Правда, для любителей астрономии эти же фирмы создали за последние годы великолепные высокочувствительные цветные пленки, но и любители тоже начали переходить к электронным светоприемникам. Не за горами тот день, когда мы с благодарностью распрощаемся с фотографией. Неужели и тогда не поставим ей памятник?

³ Сурдин В.Г. Оптические телескопы: рывок в будущее // Природа. 1997. №3. С.54—63.

⁴ Spectrum. Newsletter of the Royal Greenwich. March 1997. №13. P.20.

⁵ ESO Press Release 02/99. 15 January 1999.

ОБЪЯВЛЕНИЯ

ДОРОГИЕ ЧИТАТЕЛИ!

Подписывайтесь на «Природу» в редакции журнала! Это обойдется вам намного дешевле. Цена льготной подписки (в редакции) на I полугодие 2000 г. — 30 руб. за номер или 180 руб. за полугодие. Иногородние могут выслать деньги за подписку почтовым переводом, добавив стоимость пересылки шести бандеролей весом 200 г.

Наш адрес: 117049, Москва, Мароновский пер., 26, «Природа», Александровой Ирине Филипповне (тел. (095) 238—24—56).

Если вы намерены подписаться на почте, ищите сведения о «Природе» в Объединенном каталоге «Подписка-2000», т.1, с.151. Базовая цена подписки 78 руб. за номер или 468 руб. за полугодие.

Гениальный взмах физиологической мысли

К 170-летию со дня рождения И.М.Сеченова

академик **А.Д.Ноздрачев,**

Санкт-Петербургский государственный университет

В.А.Пастухов,

доктор медицинских наук

Институт физиологии им.И.П.Павлова РАН

Санкт-Петербург

1 (13) АВГУСТА 1829 г. в деревне Теплый Стан (ныне Сеченово) в семье мелкопоместного помещика Михаила Алексеевича Сеченова и его бывшей крепостной Анисьи Егоровны родился последний сын Иван. Свои первые шаги ученичества он вместе с младшими сестрами проходил дома, поскольку после смерти отца средств в семье не хватало. Арифметику, русский и математику преподавал детям священник, а французский и немецкий — гувернантка. Впоследствии прекрасное знание европейских языков помогло Сеченову познакомиться со многими выдающимися физиологами того времени.

В 1843 г. Иван по совету старшего брата поступает в Главное инженерное училище в Петербурге, в котором тогда преподавали талантливые педагоги, в том числе известный математик М.В.Остроградский. После окончания низших классов из-за далеко не примерного поведения Сеченова направили на службу в Киев во второй резервный саперный батальон. Тягостное впечатление от службы стало причиной его ухода из армии в 1850 г. Тогда же Сеченов приезжает в Москву с твердым намерением продолжить образование. Он становится вольнослушателем медицинского факультета Московского университета. За один год он в совершенстве овладевает латинским языком, столь необходимым для медика, и в 1851 г. его зачисляют на первый курс.

Из всех многочисленных дисциплин Сеченов избрал физиологию. В практической медицине он разочаровался с первых лет учебы. «Виной моей измены медицине, — писал он, — было то, что я не нашел в ней, чего ожидал, — вместо теории голый эмпиризм. Болезни, по их загадочности, не возбуждали во мне ни малейшего интереса, так как ключа к пониманию их смысла не было»¹.

Время, однако, показало, что, не занимаясь практической медициной, Сеченов сделал для нее значительно больше, чем многие из его современников-медиков, не считая, пожалуй, С.П.Боткина. Теоретические физиологические исследования и открытия Сеченова — яркий пример того, что нет ничего более практичного, чем глубокая теория.

В конце университетского курса Сеченов сдает вместе с двумя другими студентами (будущим офтальмологом Э.А.Юнге и физиологом П.П.Эйбродтом) сложные экзамены, позволяющие защищать докторскую диссертацию. Однако на заграничную стажировку, столь необходимую для продолжения профессионального образования, нужны были деньги. Помогли братья, выделив Сеченову из наследства матери 6 тыс. руб. Без сожаления отказавшись от своих «помещичьих» прав, он уехал в Германию.



*Иван Михайлович Сеченов.
60-е годы прошлого столетия.*

В Берлинском университете Сеченов слушает лекции И.Мюллера и Э.Дюбуа-Реймона по физиологии, а также по физике, гистологии и аналитической химии, изучает качественный анализ, занимается в лаборатории и не гнушается никакой работы. Затем в лаборатории профессора Функе он изучает влияние алкоголя на азотистый обмен в организме, на мышцы и нервную систему. Во время этих исследований находит ошибку, допущенную в опытах знаменитого французского физиолога Клода Бернара, который показал, что введен-

ный под кожу лягушки роданистый калий вызывает паралич мышц при сохранении чувствительности кожи. Повторив эти опыты, Сеченов обнаружил, что на самом деле исчезает чувствительность кожи, а деятельность мышц сохраняется. Публикация данной работы сразу принесла известность молодому физиологу среди европейских коллег. Бернар же, как подобает истинному ученому, признал свою ошибку.

Весной 1858 г. Сеченов работает у знаменитого физиолога К.Людвига, а затем по его рекомендации едет к

Г.Гельмгольцу и Р.Бунзену в Гейдельберг. Исследуя там функции зрительной системы, он открывает феномен флуоресценции хрусталика.

Во время стажировки Сеченов встречается с однокашником и другом, впоследствии знаменитым терапевтом, С.П.Боткиным, а также с друзьями Д.И.Менделеевым, А.П.Бородиным и А.Н.Бекетовым. Они вместе путешествуют по Швейцарии, Испании и Франции. Такие совместные поездки во время летних каникул значительно расширили кругозор Сеченова. Особое впечатление оставила Италия — любимая музыка, красивая речь, великолепные пейзажи. Он посетил Милан, Венецию, Рим, где побывал в мастерской А.Иванова и увидел почти законченное полотно «Явление Христа народу» и многочисленные этюды к этой картине.

В эти годы формируется главное научное кредо ученого — анализ физиологических функций организма при помощи физико-химических методов и понятий. Именно с таких позиций он изучает физиологию острого алкогольного отравления. В этой работе, ставшей потом его докторской диссертацией, впервые доказано, что основная часть алкоголя не разрушается в желудке, а поступает в кровь, циркулируя там долгое время. Для изучения влияния алкоголя на газы крови Сеченов сконструировал новый прибор — «кровеный насос», который высоко оценил Людвиг и которым впоследствии пользовались многие физиологи. (Оригинальный сеченовский «кровеный насос» в рабочем состоянии хранится в музее кафедры общей физиологии Санкт-Петербургского университета.)

Изучив газы крови и температуру во многих органах, Сеченов пришел к выводу, что алкоголь подавляет химические процессы в тканях, вызывает учащение дыхания и сердечной деятельности, изменяет функции многих органов. Он опроверг существовавшее тогда мнение о том, что алкоголь якобы стимулирует кровоснабжение мозга. В опытах на самом себе Сеченов показал, что алкоголь не только меняет деятельность

разных систем организма, но наряду с этим еще и усиливает выделение воды.

Диссертация Сеченова стала первым в истории фундаментальным исследованием влияния алкоголя на организм. Не говоря здесь о ее практическом значении (что совершенно ясно), необходимо обратить внимание на сформулированные в ней общезнаменательные положения и выводы:

во-первых, «все движения, носящие в физиологии название произвольных, суть в строгом смысле рефлективные»;

во-вторых, «самый общий характер нормальной деятельности головного мозга (поскольку она выражается движением) есть несоответствие между возбуждением и вызываемым им действием — движением»;

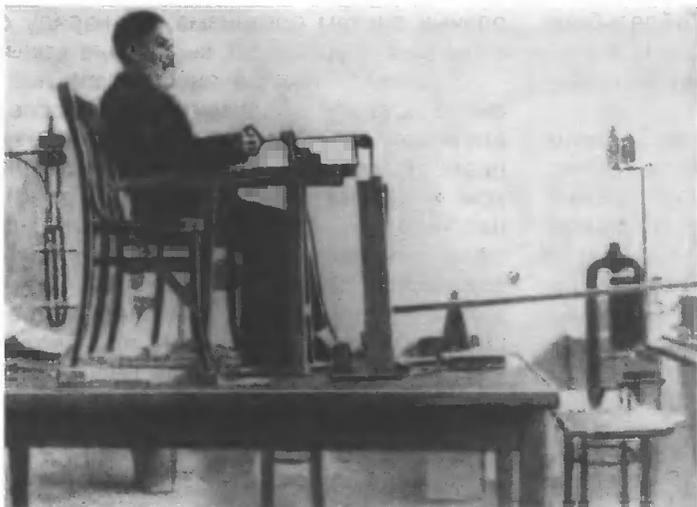
И наконец, «рефлекторная деятельность головного мозга обширнее, чем спинного»².

Более того, некоторые выводы диссертации, такие как: «При настоящем состоянии естественных наук единственный возможный принцип патологии есть молекулярный», — не только не потеряли своего значения, а напротив, сегодня приобретают все больший и больший вес в изучении функций живого организма.

Важно подчеркнуть еще одно обстоятельство. Сформулированные отдельные положения этой работы послужили толчком для дальнейшего теоретического (Сеченов) и экспериментального (Павлов) доказательств рефлекторной теории.

После трех с половиной лет зарубежной стажировки Сеченов возвращается в Россию. Не получив в Московском университете освободившейся вакансии на кафедру физиологии (ее получил Эйнбродт, сокурсник Сеченова), он едет в Петербург по приглашению своего учителя И.Т.Глебова, тогда вице-президента Медико-хирургической академии (МХА). 5 марта 1860 г. там состоялась защита его докторской диссер-

² Сеченов И.М. Материалы для будущей физиологии алкогольного опьянения. Диссерт. на степень доктора медицины. «Тезисы» (Тезисы). СПб., 1860.



*Эксперименты на эргографе.
Последний (московский) пе-
риод деятельности.*

тации, о которой все уже знали. Позднее Сеченов вспоминал: «Диссертацию я никому не представлял, взял рукопись у меня в своем кабинете Глебов, без всякой просьбы с моей стороны она была напечатана даром в «Военно-медицинском журнале» и защищена мной не более как через месяц по приезде в Петербург»³.

Первый приватный курс адъюнкт-профессора физиологии был посвящен «животному электричеству». После публикации в «Военно-медицинском журнале» эти лекции составили самостоятельную книгу с тем же названием. Выводы, сделанные в ней, звучат вполне современно, будто они только что написаны: «Акт нервного возбуждения есть акт по природе электрический; закон возбуждения в мышечной ткани такой же, как в нерве; акт мышечного возбуждения можно назвать электрическим, как и процесс нервного возбуждения». За эту работу Сеченов получил Демидовскую премию. В дальнейших лекциях он высказывает тезис о тесном взаимодействии организма и окружающей среды, указывая, в частности, что организм без внешней среды, поддерживающей его существование, невозможен, поэтому в научное определение организма непременно должна входить и влияющая на него среда.

Ясные и убедительные лекции 30-летнего доктора медицины, сопровождаемые опытами на животных, привлекали не только студентов, но и представителей передовой интеллигенции. Их посещали И.С.Тургенев, Н.Г.Чернышевский и многие другие. Интересно, что современники считали Сеченова прототипом Кирсанова в романе Чернышевского «Что делать?» и Базарова в романе Тургенева «Отцы и дети».

Дружба с Чернышевским и прогрессивно настроенной интеллигенцией послужила причиной отказа Сеченова баллотироваться в 1861 г. на выборах в Академию наук. В декабре того же года Петербургский университет закрыли из-за студенческих волнений. Отправлен в ссылку профессор П.В.Павлов, а в июле 1862 г. заточен в Петропавловскую крепость Чернышевский. Атмосфера становится тяжелой, и Сеченов снова уезжает за границу. Он работает в Париже в лаборатории Бернара по так называемому центральному торможению — механизму снижения или полного угнетения рефлексов. Перерезая мозг лягушки на различных уровнях и раздражая его физическими (электрическими) или химическими агентами, а также используя физиологические способы возбуждения нервных структур, он обнаружил в зрительных буграх мозга задерживающие центры. Это очередное и, пожалуй,

³ Сеченов И.М. Автобиографические записки. С. 164.

одно из самых значимых открытий Сеченова получило в физиологии название «сеченовское торможение». После открытия центрального торможения стало очевидным, что деятельность нервной системы складывается из двух процессов — возбуждения и торможения. «В непрерывном процессе уравнивания организма с внешним миром принимают участие оба процесса: как раздражительный, так и тормозный», — позднее напишет Павлов⁴.

В конце 1863 г. Сеченов, еще будучи за границей, по предложению Н.А.Некрасова, тогда редактора журнала «Современник», подготовил статью под названием «Попытка ввести физиологические основы в психические процессы». Царская цензура запретила эту публикацию, узрев в ней посягательства на «святыя святых» человека — его психическую деятельность. Но через некоторое время статья все же вышла в журнале «Медицинский вестник» под другим, еще более «материалистическим» названием — «Рефлексы головного мозга». Лейтмотив работы — утверждение, что все акты сознательной и бессознательной жизни по способу происхождения суть рефлексы.

Сеченов определял декартовский «рефлекс» не более как ответную реакцию на возбуждение рецепторов, информация от которых поступает в центры спинного и головного мозга. В мозге полученная информация анализируется, затем формируется «приказ», который передается на эффекторы, или исполнительные органы. Таким образом, впервые был поставлен вопрос о рефлекторном характере психической деятельности человека и о рефлексах его мозга. Указывалось также, что любая рефлекторная реакция в организме в конце концов завершается двигательным актом. Сеченов писал: «Смеется ли ребенок при виде игрушки, улыбается ли Гарибальди, когда его гонят за излишнюю любовь к Родине, дрожит ли де-

вушка при первой мысли о любви, создает ли Ньютон мировые законы и пишет их на бумаге — везде окончательным фактором является мышечное движение...»⁵.

В основе невольных (непроизвольных) движений, указывал Сеченов, лежит прежде всего отражательный механизм, усиливающий или задерживающий рефлексы. Произвольные движения не имеют чувственного возбуждения. Психическим развитием человека управляет внешняя среда за счет способности органов чувств воспринимать ее влияния в виде ощущений, анализа их в пространстве и времени, сочетания или группировки в центральной нервной системе. В настоящее время хорошо известно, что многие проявления деятельности организма зависят не только от внешней среды, но и от наследственности.

Сеченов говорил, что рефлекс лежит и в основе памяти. Это означает, что все произвольные (сознательные) движения в строгом смысле отраженные, т.е. рефлекторные. Следовательно, умение группировать движения человек приобретает повторением соединяющихся (ассоциированных) рефлексов. Теми же рефлексами он задерживает эти движения, что и лежит в основе явлений, при которых психическая деятельность остается в форме мысли, желания, намерения, размышления. «Мысль, — по Сеченову, — есть первые две трети психологического рефлекса»⁶. Учение Сеченова о рефлексах головного мозга Павлов назвал «гениальным взмахом русской научной жизни».

Публикация статьи не прошла незамеченной. Вскоре против ее автора министр внутренних дел П.А.Валуев возбудил судебное преследование, узрев в этом сочинении пропаганду «крайнего материализма». На заботу друзей об адвокате Сеченов отвечал: «Зачем мне адвокат? Я возьму в суд лягушку и продаю перед судьями все мои опыты:

⁴ Павлов И.П. Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности (поведения) животных // Полн. собр. соч. Т.3. Кн.2. С.24.

⁵ Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга // Избранные произведения. М., 1958. С.36.

⁶ Там же. С.118.



*С женой М.А.Боковой (слева)
и А.В.Неждановой. 1904 г.*

пускай тогда прокурор опровергает меня». После вмешательства передовых людей России, а также герценовского «Колокола» министерство юстиции дело прекратило, однако ярлык «политически неблагонадежного» остался за автором «Рефлексов» на всю жизнь.

В 1866 г. вышло руководство «Физиология нервной системы», в котором Сеченов обобщил свой опыт. Анализируя механизм атаксии (заболевания, при котором происходит выключение чувствительности кожи и мышц, влекущее нарушение нормальных координационных движений), он пришел к выводу, что человек может подсознательно ощущать свои мышцы, и назвал это ощущение «темным мышечным чувством». Мысль о том, что именно «мышечное чувство» вместе с кожными и зрительными ощущениями позволяет сознательно координировать движения, предопределила появление и развитие большого и важного раздела физиологии — учения о проприорецепции.

Еще летом 1865 г., отдыхая в Сорренто, Сеченов познакомился с И.И. Мечниковым, тогда мало известным молодым биологом. Между ними завязалась

тесная и крепкая дружба. Спустя два года, вернувшись в Россию, Сеченов попытался пригласить своего молодого друга на освободившуюся вакансию по кафедре сравнительной анатомии в Медико-хирургической академии. Этому желанию не суждено было осуществиться. В том же году Мечников стал приват-доцентом кафедры зоологии Новороссийского университета, который находился в Одессе. В 1869 г. Сеченов предложил кандидатуру Мечникова на должность ординарного профессора кафедры зоологии Медико-хирургической академии, нисколько не сомневаясь в успехе: его поддерживали Боткин и Грубер, а, кроме того, претендента уже хорошо знали в научных кругах.

Однако в результате интриг сеченовский кандидат получил только 12 избирательных голосов и 13 против. Увы, дар провидения дан не всем, и Мечникову отказали. Так в двери МХА стучался будущий обладатель второй (из двух полученных российскими учеными по физиологии и медицине) Нобелевской премии. Сеченов обиделся. Когда его совету не вняли второй раз (он представлял А.П.Голубева на кафедру

гистологии и истории развития), Иван Михайлович оскорбился окончательно и заявил об уходе «по домашним обстоятельствам», после чего покинул академию. Так он невольно заложил еще одну «традицию»: после Сеченова руководители кафедры физиологии на протяжении последующих 80 лет будут уходить из академии при очень разных обстоятельствах, но всегда с обидой.

В январе 1870 г. Сеченова избрали членом-корреспондентом Академии наук, что, однако, не обеспечивало ему рабочего места в этой системе. 27 апреля Мечников представляет кандидатуру Сеченова на место ординарного профессора по кафедре зоологии физико-математического факультета Новороссийского университета. Однако Министерство просвещения не спешило с утверждением Сеченова в этой должности, и он приезжает в Одессу только в августе.

Здесь помимо обычных занятий со студентами, к которым он всегда относился ответственно, продолжается научная работа. Его интересует дыхательная функция крови. Сконструировав новый прибор для анализа газов крови, Сеченов с помощью этого воздушного насоса установил, что гемоглобин эритроцитов химически связывает только 15% CO_2 и связь эта слабее, чем связь с кислородом. Такая особенность обмена газов крови обусловлена их разным напряжением в легких, крови и тканях организма. Это открытие Сеченова признали лишь спустя 50 лет, когда обнаружили соединение гемоглобина с оксидом углерода — карбомиогемоглобин.

Продолжаются работы по нейрофизиологии. Вместе с Мечниковым Сеченов обнаружил тормозящее действие блуждающего нерва на сердце черепахи. Оказалось, что при сильном раздражении чувствительных нервов возникают активные двигательные рефлексы, которые вскоре сменяются полным угнетением рефлекторной деятельности. Эту закономерность крупнейший физиолог Н.Е.Введенский, ученик Сеченова, предложил назвать рефлексом Сеченова.

В 1873 г. Сеченова в третий раз выдвигают в академики (в 1860 г. он сам снял свою кандидатуру, в 1868 г. его не избрали, поскольку против выступил президент Академии, имевший по уставу два голоса). Но он снова не стал академиком: отделение физиологии проголосовало «за», но общее собрание не утвердило кандидатуру.

Тогда же Сеченов публикует статью «Кому и как разрабатывать психологию», в которой называет эту важнейшую область знаний родной сестрой физиологии. По его мнению, психологию должны разрабатывать естествоиспытатели-физиологи, а простые психические акты также следует изучать на животных. Открытое им ранее центральное торможение он также относил к психическим процессам. Не видя между психическими явлениями и нервными процессами большой разницы, Сеченов считал, что началом отдельных психических актов служит чувственное возбуждение, серединой — «сознательное», или «психическое», и концом — внешнее проявление и двигательная реакция.

Зимой 1876 г. совет Петербургского университета единогласно избирает Сеченова на должность ординарного профессора кафедры физиологии. На этот раз Министерство народного образования без промедления утверждает его на эту должность. Годы работы в Петербургском университете сам Сеченов вспоминает очень тепло: «...к его физико-математическому факультету в особенности я преисполнен по сие время великого уважения. Не говоря о том, что сидеть рядом с такими людьми, как Чебышев, Менделеев и Бултеров, было для меня большой честью, — университетская коллегия того времени представляла поразительный пример дружного единодушия по всем вопросам университетской жизни. Посещая аккуратно заседания факультета и совета, я за все 11 лет не был свидетелем ни там, ни здесь ни единого враждебного столкновения, ни единого грубого слова».⁷

⁷ Сеченов И.М. Автобиографические записки. С.238—239.

Помимо чтения лекций и проведения практических занятий со студентами Сеченов продолжает научную работу. В этот период он развивает взгляды о мышлении, характеризуя его как сложнейшую функцию психики. В своей статье «Элементы мысли» (1878) Сеченов заложил основы для изучения отвлеченного, или абстрактного, мышления, которые в развернутом виде представлены в книге того же названия⁸ (1903).

Итак, установив рефлекторную природу психической деятельности, Сеченов дал подробное толкование таких фундаментальных понятий психологии, как ощущения и восприятия, ассоциации, память, мышление, двигательные акты, развитие психики у детей. Впервые показал, что вся познавательная деятельность человека носит аналитико-синтетический характер. Это учение Сеченова продолжили В.М.Бехтерев, П.Ф.Лесгафт, Н.Н.Ланге и многие другие, в том числе современные психологи. За заслуги в исследованиях в области психологии Сеченов был избран почетным председателем I Международного психологического конгресса (Париж, 1889).

За годы работы в Петербургском университете не только теория и эксперимент привлекали Сеченова — он чутко откликался на проблемы, которые ставила сама жизнь. Двое из трех французов, поднявшихся на аэростате на высоту 8,5 км, погибли. Изучив причину трагедии, Сеченов представил на VI съезде естествоиспытателей данные о том, что воздухоплаватели погибли из-за недостатка кислорода. Так были заложены основы для еще одного направления — авиационной физиологии, переросшей в наше время в космическую физиологию и медицину.

В конце 1888 г. Сеченов подает прошение об увольнении из Петербургского университета. Стаж профессорской деятельности — 29 лет, по тем временам внушительный. Выйдя в отставку, он вновь едет за границу, чтобы про-

должить занятия наукой, в частности исследует физико-химию растворов. В результате еще одно открытие — закон Сеченова, устанавливающий зависимость поглощения газов от концентрации солей в растворах.

Наконец, наступает последний период научной деятельности ученого, теперь уже в стенах Московского университета, в его альма-матер. Он обобщает исследования нервной системы в монографии «Физиология нервных центров» (1891). Главный вывод книги сводится к тому, что вообще все нервные аппараты имеют значение автоматических регуляторов. Он дает научные обоснования восьмичасового рабочего дня на предприятиях, вводит понятие «активный отдых». Из-под его пера выходят ряд статей и книга «Очерки рабочих движений человека».

В день, когда исполнилось 35 лет преподавательской и научной деятельности Сеченова (1895), к нему в лабораторию пришла делегация — физик А.Г.Столетов, биолог К.А.Тимирязев и химик В.В.Морковников — с предложением отпраздновать юбилей. Однако юбиляр с присущей ему скромностью отказался: «На всяком юбилее неизбежна склонность к преувеличениям и прикрасам, да еще найдется такой любитель, который скажет что-нибудь такое, что готов будешь сквозь землю провалиться, нет уж, слуга покорный, нет охоты стоять с красными ушами»⁹. И все же Петербургское общество естествоиспытателей высказало свое отношение к юбиляру, своему почетному члену: «Тридцать пять лет Вашего служения русской науке составляют эпоху, знаменательную в ее судьбах. За это время физиология впервые стала у нас на твердую почву и заслужила внимание ученого мира. Это свершилось прежде всего благодаря Вашей почтенной деятельности». В обращении Общества русских врачей Санкт-Петербурга говорилось, что оно признает своим нравствен-

⁸ Сеченов И.М. Элементы мысли // Избранные труды. М., 1935. С.302—389.

⁹ Пастухов В.А. И.М.Сеченов и И.П.Павлов. СПб., 1998. С.27.

ным долгом приветствовать его в настоящий момент «как отца русской экспериментальной физиологической школы, как высокоталантливого учителя и плодотворного популяризатора и как чистый образец ученого, всю жизнь посвящающего копанию истины не только в лаборатории, но и в жизни».

Сеченов продолжает работать в Московском университете. Однако годы берут свое — уже 70 лет. Весной 1899 г. он подает прошение об освобождении от обязательных лекций и просит оставить за ним лабораторию и специальные лекции для студентов. Через три года уходит в отставку. В «Автобиографических записках» он напишет: «Покончить с преподавательской деятельностью побудили меня лета, сознание нависшей отсталости в науке и убеждение, что старику не следует дожидаться времени, когда публика будет желать его ухода»¹⁰.

Но и после отставки Сеченов продолжает работать в лаборатории и читать лекции на Пречистенских курсах рабочих.

Необходимо вспомнить и еще об одной немаловажной стороне деятельности Ивана Михайловича. Он исключительно много сделал для предоставления женщинам России возможности получения высшего образования. Две из них — М.А.Бокова (впоследствии ставшая женой Сеченова) и Н.П.Суслова при

его поддержке стали заниматься наукой. Бокова, прослушав курс физиологии, который Сеченов читал в академии, изучала на собаках способы искусственного дальтонизма, а Суслова исследовала изменения кожных ощущений под влиянием электрических раздражений.

В январе 1905 г., уже незадолго до смерти, наконец приходит сообщение об избрании Сеченова почетным академиком Академии наук, членом-корреспондентом которой он состоял в течение 35 лет.

2(15) ноября Сеченова не стало. Большую часть своего небольшого состояния он завещал бедным крестьянам родного Теплового Стана, а гонорар за издание своих трудов (после смерти жены) — Пречистенским курсам.

Сегодня очевидно, что многие современные разделы физиологии — нейрофизиология, физиология труда, спорта и отдыха, физико-химические (молекулярные) и биофизические направления в физиологии, эволюционная физиология, физиология высшей нервной деятельности, кибернетика и др. — своими корнями уходят к открытиям Ивана Михайловича Сеченова. Его работы составили в физиологии целую эпоху. Недаром И.П.Павлов, вслед за Обществом русских врачей Санкт-Петербурга, назвал Сеченова «отцом русской физиологии». Перефразируя слова Ньютона, сказанные о Декарте, можно утверждать, что Сеченов — самый крупный физиолог, «на плечах» которого стоит Павлов.

¹⁰ Там же. С.28.

КОРОТКО

В Исландии 18 декабря 1998 г. произошло извержение в пределах кальдеры подледникового вулкана Гримсвельд. В 1996 г. извержение этого же вулкана вызвало катастрофический лавовый поток, который буквально взломал ледниковый покров.

За несколько недель до декабрьских событий была от-

мечена вяло возрастающая сейсмическая активность. Вскоре после начала извержения веероподобные выбросы из вулкана достигли 10-километровой высоты над ледником Ватнайёкудль и продолжались в течение суток. Продукты извержения были разбросаны в 50-километровом радиусе от вулкана и проникли в подлед-

никовое озеро кальдеры и ледниковый покров. На протяжении последующих полутора недель активность вулкана стала снижаться, приняв пульсирующий характер, и к 28 декабря прекратилась. После этой даты взлом ледникового покрова не отмечался.

Geotimes. 1999. V.44. №3. P.30 (США).

- 77** **Nb** Гигантские экзопланеты на месте Земли. **Сурдин В.Г.**
- 78** Возрождение «SOHO»
На свидание с кометой Вильда-2
- 80** Комета Хейла-Боппа рассказывает...
Зачем пауки дополнительно спариваются. **Михайлов К.Г.**
- 81** Изотопы рассказывают о странствиях монарха
Внутриутробное облучение
«Ты меня уважаешь?»
- 82** Старое лекарство,
новая опасность
- 83** Симбиоз растений и грибов повышает продуктивность растительных сообществ
Синица — за чистый воздух
Черная кайра страдает от потепления
- 84** Глубинные источники «горячих точек»
Угроза от озер-убийц нарастает
- 85** У современной пшеницы разные генетические линии
«Коренные» изменения в древней атмосфере
- 86** Гаргантюавис заставил палеонтологов задуматься
Летать стало возможно благодаря кислороду
- 87** Астрономы каменного века

- 77** **Nb** Giant Exoplanets in the Earth's Place. **Surdin V.G.**
- 78** SOHO Revival
A Rendezvous with Comet Wild—2
- 80** Comet Hale—Bopp Tells Its Story
Why Spiders Engage in Extra Copulation. **Mikhailov K.G.**
- 81** Isotopes Give Clues to Travels of Monarch Butterflies
Prenatal Irradiation
«Do You Respect Me?»
- 82** An Old Medicine but a New Danger
- 83** Symbiosis of Plants and Fungi Raises the Productivity of Plant Communities
Tomtits for Clean Air
Black Murre Suffering from Warming
- 84** Deep Sources of Hotspots
Increasing Threat from Killer Lakes
- 85** Different Genetic Lines in Modern Wheat
Plant Root Development Drastically Affected the Ancient Atmosphere
- 86** Gargantuavis Making Paleontologists Wonder
Flying Was Made Possible by Oxygen
- 87** Stone Age Astronomers

Nota bene

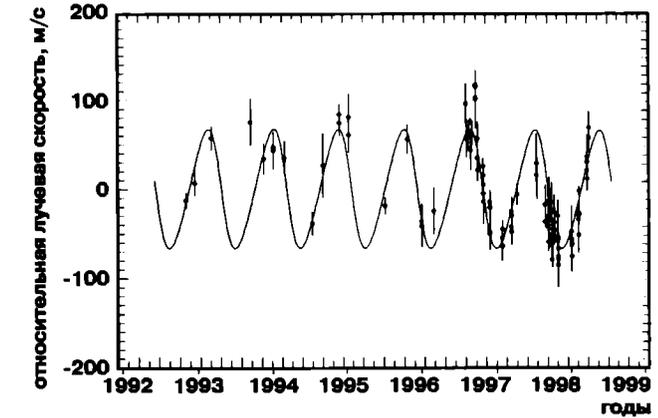
Астрономия

Гигантские экзопланеты на месте Земли

Не пугайтесь: наша Земля остается на своем месте. Просто астрономы обнаружили, что вокруг соседней с нами звезды, подобной Солнцу, по орбите, очень похожей на земную, движутся гигантские планеты, точнее — экзопланеты, превосходящие Юпитер.

Экзопланетами сейчас принято называть маломассивные спутники звезд, близкие по своей природе к планетам Солнечной системы. Первая система из трех экзопланет была открыта в 1991 г. вокруг нейтронной звезды — радиопульсара PSR B1257+12. Автор открытия — работающий в США на 305-метровом радиотелескопе в Аресибо польский радиоастроном А.Вольщан — заметил периодическое изменение частоты прихода импульсов от пульсара и понял, что в результате эффекта Доплера так проявляется слабое покачивание нейтронной звезды, вызванное обращением вокруг нее маленьких невидимых тел. Измерив вариации лучевой скорости пульсара, астрономы определили, что рядом с ним — не менее трех планет, а их массы близки к земной. До сих пор это единственный случай обнаружения столь легких планет за пределами Солнечной системы. Их слабое гравитационное влияние на звезду удалось заметить лишь потому, что пульсары — источники чрезвычайно стабильных радиосигналов, моменты прихода которых регистрируются с высочайшей точностью. Это словно специально созданные природой «опорные генераторы», значительно повышающие качество измерений при проведении разного рода астрофизических экспериментов.

Та легкость, с которой землеподобные планеты обнаружены у первого пульсара,



*Лучевая скорость звезды *iota* Hor. Точки с «усами» ошибок — наблюдавшиеся значения скорости; волнообразная кривая — теоретическая подгонка, наилучшим образом описывающая движение звезды.*

ра, вдохновила радиоастрономов на проведение тщательного доплеровского анализа сигналов и других «космических маяков» (сейчас их открыто более тысячи). Однако поиск планет у нескольких сотен радиопульсаров пока не принес положительных результатов. Как ни странно, такой результат вполне укладывается в рамки существующих представлений. Астрономы и не ожидали найти «нормальные» планеты рядом с пульсарами.

Первая «настоящая» экзопланета была обнаружена в 1995 г. астрономами Женевской обсерватории М.Майор и Д.Квелоц. Они построили оптический спектрометр, измеряющий доплеровское смещение линий с изумительной точностью (в пересчете на скорость — 13 м/с), и в 1994 г. приступили к регулярному измерению лучевых скоростей у 142 солнцеподобных звезд из ближнего окружения Солнца. Довольно быстро они обнаружили «покачивания» звезды 51 Peg (51-я Пегаса), происходящие с периодом 4.23 сут и вызванные влиянием на звезду обращающейся вокруг нее планеты, по массе близкой Юпитеру. К концу XX в. найдено уже около 20 таких

планетных систем¹. Все открытия сделаны путем измерения лучевой скорости звезды, однако чувствительность оптических спектрометров не так высока, как радиоастрономических. Поэтому оптические методы пока позволяют обнаруживать лишь сравнительно массивные и близкие к звезде планеты, способные заставить «вальсировать» центральное светило с относительно большой амплитудой скорости. Например, Земля, двигаясь по орбите со скоростью 30 км/с и имея массу в 333 тыс. раз меньше солнечной, вызывает движение Солнца относительно общего центра их масс со скоростью всего 9 см/с. Оптическим приборам «не по зубам» такая точность.

Десятки планетных систем — это уже статистика, которая должна ответить на вопрос, насколько типична Солнечная система. Началу астрономам казалось, что в других системах планеты класса «юпитер» расположены ближе к центральной звезде, чем у нас. Иногда настолько близко, что им уже дали название «горячие юпитеры». Например, в системе 51 Peg юпитер обращается вокруг звезды на расстоянии в 20 раз меньшем, чем Земля от Солнца. Поэтому температура поверхности этой планеты никак не меньше 1000 К. Судя по всему, в пер-

¹ Подробнее см.: Extrasolar Planets Encyclopedia, URL: <http://cfa-www.harvard.edu/planets/>

вых открытиях проявилась огромная чувствительность методики: близкую к звезде планету заметить легче. Но постепенно стали обнаруживаться юпитеры все дальше от звезды. К настоящему моменту в разных системах найдено несколько юпитеров, обращающихся по орбитам, размером с орбиту Земли. Последнее такое открытие сделано на Европейской южной обсерватории Ла-Силья (Чили), где установлен прецизионный спектрометр, пропускающий свет звезды сквозь кювету с парами йода и фиксирующий относительное положение спектральных линий звезды и йода. В результате многолетних наблюдений за движением яркой звезды в созвездии Часы (*Horologium*) получено доказательство обращения вокруг нее планеты-гиганта с массой в 2.26 раз больше, чем у Юпитера. Сама звезда *iota Horologium* (*iota Hor*) очень похожа на Солнце: ее масса — 1.03 солнечной, спектральный класс G0 (у Солнца G2), а расстояние до нее всего 56 св. лет. Имея яркость 5.4 звездной величины, она заметна на небе невооруженным глазом.

Эту звезду в числе сотен других солнцеподобных звезд начали наблюдать еще в 1992 г. Для измерения скорости столь яркой звезды хватало скромного 1.4-метрового телескопа. Но когда в 1997 г. стало ясно, что у нее есть планета, к наблюдениям подключили более мощные инструменты. Еще два года потребовалось международной команде астрономов² для уточнения орбиты новооткрытой планеты. Оказалось, что *iota Hor b* движется по заметно вытянутой орбите с эксцентриситетом 0.16. Если бы она находилась в Солнечной системе, ее орбита в перигелии касалась бы орбиты

Венеры, а в афелии — орбиты Земли³.

Когда по измеренным значениям скорости звезды астрономы провели наилучшую теоретическую кривую, отвечающую движению по эллиптической орбите, оказалось, что полного согласия нет: аппаратная точность измерения скоростей звезд ± 17 км/с, а наблюдательные точки разбросаны относительно кривой на ± 27 км/с. Это означает, что либо в системе есть еще одна массивная планета, дополнительно возмущающая движение звезды, либо сама звезда не очень стабильна, и ее атмосфера «дышит». Второе объяснение предпочтительнее, так как *iota Hor* кажется моложе и активнее Солнца, поэтому ее атмосфера должна быть не столь спокойна, как у нашего светила; большие колебания звезды вполне могут вносить шум в измерения. Сейчас у астрономов две задачи: повысить чувствительность спектрометра, чтобы отделить хаотические колебания звездной поверхности от регулярных покачиваний, вызванных ее «планетным танцем»; а также продолжать наблюдения с надеждой заметить влияние на звезду второй подозреваемой планеты.

© В.Г.Сурдин,
кандидат физико-математических наук
Москва

Космические исследования

Возрождение «SOHO»

В июне 1998 г. два из трех гироскопов солнечно-гелиосферной обсерватории «SOHO» («Solar Heliosphere Observatory») вышли из строя, и спутник стал беспорядочно вращаться.

2 февраля Центру управления полетом НАСА (Пасаде-на, штат Калифорния) удалось восстановить два гироскопа и

вести в компьютерную систему этого искусственного спутника новую программу его ориентации.

Пока не работали гироскопы, постоянно включенными оставались маршевые двигатели, чтобы поддерживать спутник в определенном положении относительно Солнца. Таким образом, возникла опасность перерасхода топлива. Однако в конце концов инженеры сумели разработать программу, которая позволила вести навигацию с помощью приборов, ориентирующихся на звезды.

Теперь есть основания полагать, что миссия «SOHO» по наблюдению за физическими полями на Солнце и в окколосолнечном пространстве продлится до 2003 г., благодаря чему будет охвачен интереснейший для специалистов отрезок времени высокой солнечной активности, максимум которой наступит в середине 2000 г.

Astronomy and Geophysics. 1999. V.40. №2. P.217 (Великобритания).

Космические исследования

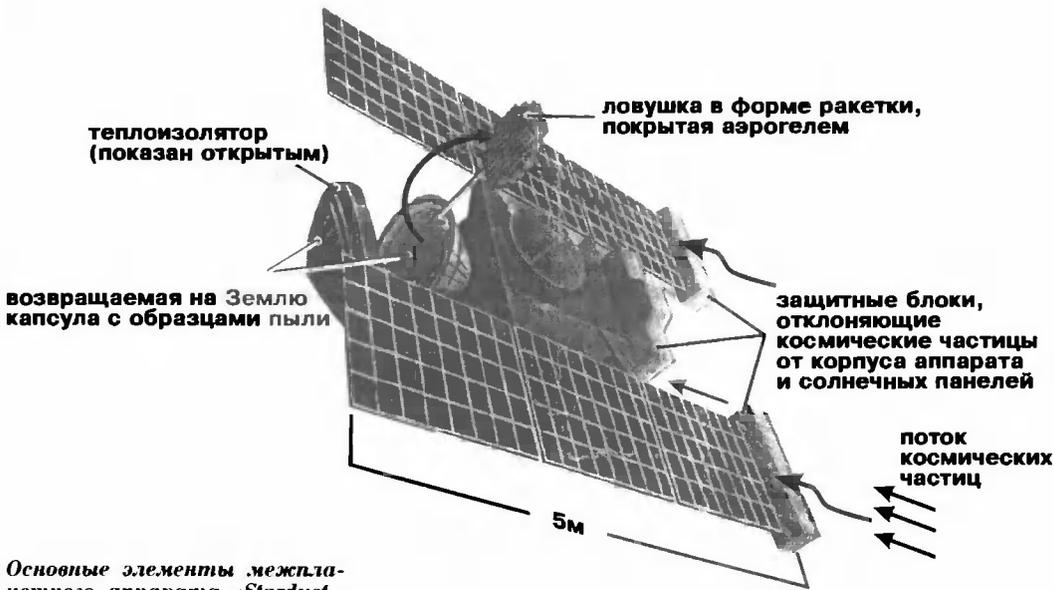
На свидание с кометой Вильда-2

27 февраля 1999 г. на орбиту выведен американский межпланетный аппарат «Stardust» («Звездная пыль»), который специально предназначен для изучения кометы — от ее снежно-каменной «головы» до газопылевого «хвоста». Операция включает также захват космической пыли на пути к этой дальней цели: после лунной миссии «Аполлона» эксперимент «Stardust» предоставит возможность получить новые образцы внеземного вещества.

Объектом изучения избрана известная комета Вильда-2, которая сейчас находится в 5.55 млн км от нас. Прежде чем сблизиться с нею, аппарат совершит три облета вокруг Солнца. В конце первого он под воздействием тя-

² Kuerster M., Endl M., Els S. (ESO-Chile), Hatzes A.P., Cochran W.D. (University of Texas, Austin, USA), Doebereiner S., Dennerl S. (Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching, Germany).

³ См.: ESO Press Release 12/99, 29 July 1999.



Основные элементы межпланетного аппарата «Stardust».

готения Земли наберет дополнительную скорость, которая позволит подойти к комете с небольшой относительной скоростью 6.1 км/с, что улучшит условия захвата ее вещества.

Свидание с кометой Вильда-2 назначено на 2 января 2004 г. — тогда «Stardust» пройдет всего в 150 км от ее ядра. Находясь возле комы, он начнет ловить пылинки размерами от менее 1 мк до 100 мк. Ловушки имеют форму теннисной ракетки и с обеих сторон покрыты аэрогелем — специальной пеной с крайне низкой плотностью (она должна препятствовать повреждению пылинок при ударах со скоростью, которая в шесть раз превышает скорость винтовочной пули).

Диаметр кометы Вильда-2 (не считая, разумеется, хвоста) не превышает нескольких километров. До 1974 г. она считалась длиннопериодной, т.е. сближалась с Землей не чаще одного раза в 200 лет. Но затем, пройдя недалеко от Юпитера, она под воздействием его мощного тяготения изменила траекторию, стала короткопериодной и потому — более частой гостьей в внутрен-

ней области Солнечной системы. Важно, что близко подойти к Солнцу комета начала совсем недавно, и поэтому ее поверхностный слой испариться почти не успел.

На борту «Stardust» помещен масс-спектрометр, предназначенный для первичного определения состава пылинок (как космического, так и кометного происхождения). Бортовая оптическая навигационная камера приспособлена для получения изображений ядра кометы, которые впервые будут сделаны «лицом к лицу».

По пути к цели аппарат дважды — в 2000 и 2002 гг., — находясь между Марсом и Юпитером, займется сбором информации о недавно открытом облачном скоплении мелких космических частиц¹. Судя по наблюдениям, выполненным ранее другими аппаратами, потоки частиц несутся в направлении созвездия Стрельца, куда, не поспевая за ними, движется и Солнце.

В самом начале 2006 г. «Stardust» снова окажется

вблизи Земли. Тогда, на высоте около 100 тыс. км, от аппарата отделится посадочный отсек, который, затормозив в земной атмосфере с помощью парашютов, должен, по расчетам, опуститься 14—15 января на поверхность соляной пустыни в 150 км юго-западнее оз. Солт-Лейк (штат Юта, США). Образцы со всеми предосторожностями будут немедленно доставлены в лабораторию.

Однако стоит ли тратить на эксперимент 166 млн амер. долл., а затем ждать его результатов в течение семи лет?

Изучение космической пыли может пролить новый свет на проблему строения и эволюции всей Вселенной, на происхождение Земли и возникновения на ней жизни. Не исключено (хотя это и спорная гипотеза), что кометы вообще занесли к нам в чистом виде первичных представителей примитивной жизни — в пользу такого предположения говорят недавно обнаруженные микроорганизмы, способные существовать в экстремальных условиях — от «кипятка» горячих источников до льдов Заполярья.

¹ См. также: Источник космической пыли установлен // Природа. 1999. №4. С.97—98.

Научный руководитель проекта — профессор Университета штата Вашингтон в Сиэтле Д. Браунли (D. Brownlee), представителем НАСА в осуществлении этой миссии назначен планетолог Д. Йоманс (D. Yeomans; Лаборатория реактивного движения в Пасадене, Калифорния).

Astronomy and Geophysics. 1999. V.40. №2. P.217 (Великобритания).

Астрономия

Комета Хейла-Боппа рассказывает...

Как известно, кометы — наиболее примитивные тела, оставшиеся «неиспользованными» после возникновения Солнечной системы. Они сохраняют образцы межзвездного вещества, из которого сформировалась протосолнечная туманность. Поэтому изучение летучих веществ, содержащихся в комете, может дать необходимые науке сведения о ходе эволюции космических газов и льдов в процессе формирования планетных систем. Прежние наблюдения молекулярного состава комет были «усредненными» для крупных внутренних областей комы (газовой оболочки ядра), они охватывали как молекулы, которые сублимировались из ядра, так и молекулы, возникшие при последующих химических реакциях в коме.

Новое слово в данном вопросе сказали Дж.А.Блейк, С.Ки (G.A.Blake, S.Qi; отдел геологических и планетарных наук при Калифорнийском технологическом институте, Пасадена, США), М.Р.Хогерхейд (M.R.Hogerheide; астрономический факультет Университета штата Калифорния в Беркли) и М.А.Геруэлл (M.A.Gurwell; Гарвардско-Смитсоновский астрофизический центр в Кембридже, штат Массачусетс).

Они изучили результаты наблюдения эмиссий молекулы HCN, DCN и HDO, содержащихся в теле кометы Хейла-Боппа. Сейчас эта комета уже

находится на дальних окраинах Солнечной системы, но ее исследование, выполненное при сближении с Землей в 1997 г. с помощью приборов высокой разрешающей способности, еще долгое время будет давать пищу для всестороннего анализа.

Было обнаружено существование дугобразных структур — струйных выбросов льдистого вещества, временами поднимающихся на небольшие расстояния от ядра кометы. По составу они решительно отличаются от более крупных выбросов, связанных с химическими процессами в коме. Скорее эти структуры ближе к тому, что наблюдается в ядрах плотных межзвездных облаков и в молодых звездных объектах.

Авторы делают вывод, что сублимация миллиметровых ледяных зерен, выбрасываемых ядром кометы, предоставляет доступ к относительно неизменным летучим веществам. Отношение концентрации дейтерия к водороду в комете Хейла-Боппа, а вероятно, и в других кометах, ранее было явно занижено. Вычисления показали, что комета Хейла-Боппа состоит на 15%, или даже более, из относительно неизменного межзвездного вещества.

Если этот вывод подтвердится, он сильно повлияет на давно идущие дебаты о том, могли ли во внешних областях Солнечной системы «выжить» досолнечные летучие».

Nature. 1999. V.398. №6724. P.1X, 213 (Великобритания).

Биология

Зачем пауки дополнительно спариваются

Случаи полиандрии (спаривания самки с несколькими самцами) и полигинии (спаривания самца с несколькими самками) отмечены у пауков довольно широко. Поскольку спаривание самца со второй и

последующими самками не всегда продуктивно, у пауков выработались механизмы, препятствующие этому: самка просто поедает самца после первого спаривания, или же он сам погибает от истощения¹. Лишь изредка одни и те же партнеры спариваются двукратно.

Эволюционные преимущества и недостатки полиандрии попытались оценить австралийские ученые из Мельбурнского университета Ю.Шнайдер и М.Элгар². Свои рассуждения они основывали на цикле экспериментальных работ П.Уотсона³.

Исследования были проведены на пауке-линифииде *Neriene litiginosa*. Самцы этого вида после достижения половой зрелости прекращают строительство собственных сетей и ищут самок, сети которых выделяют феромоны. Перед началом ухаживания самец обычно разрушает эту сеть, чтобы она не привлекала других самцов. Несмотря на то что одноразовое спаривание достаточно для получения потомства, 80—90% самок спариваются более одного раза — но именно с другим, а не с тем же самым самцом!

Экспериментально показано, что потомство полиандрических самок развивается быстрее и вырастает крупнее, чем у моногамных. Кроме того, размер потомства зависит от размера тела самцов. С другой стороны, выживаемость потомства полиандрических самок значительно ниже из-за каннибализма.

По мнению австралийских ученых, преимущества полиандрии с эволюционно-экологи-

¹ См.: Михайлов К.Г. Половой диморфизм и каннибализм у пауков // *Природа*. 1991. №11. С.111; Он же. Зачем паукам карликовые самцы // *Там же*. 1992. №9. С.108—109; Он же. Самоубийство самца у пауков // *Там же*. 1995. №12. С.73—74.

² Schneider J., Elgar M. // *Trends in Ecology and Evolution*. 1998. V.13. №6. P.218—219.

³ Watson P.J. // *Animal Behavior*. 1998. V.55. P.387—403.

ческой точки зрения остаются сомнительными. Неужели сами слариваются исключительно для своего удовольствия?! Скорее всего, в этом случае мы имеем дело с одним из сложных механизмов поддержания изменчивости в популяции: потомство должно быть разным — и крупным, и мелким, оно должно расти и быстро, и медленно (на случай отсутствия пищи). Похожие случаи поддержания изменчивости у пауков описаны неоднократно⁴.

Таким образом, «групповая выгода» — стабильность популяции и вида в целом преобладает над «индивидуальной выгодой» — выживанием потомства данной особи.

К.Г.Михайлов,

кандидат биологических наук
Москва

Зоология

Изотопы рассказывают о странствиях монарха

Ежегодно тысячи американцев зимой съезжаются в северо-восточные горные районы Мексики, чтобы полюбоваться на прилет огромных стай бабочек-монархов, или данаид (*Danaus plexippus*). Существует даже общество любителей этих чешуйчатокрылых, издающее свой журнал. Однако многое в жизни данаид остается неизвестным, например точные пути их тысячекилометровой миграции.

Канадские энтомологи и биохимики Службы охраны природной среды провинции Саскачеван во главе с Л.Васенаром и К.Хобсоном (L.Wasenaar, K.Hobson) и в сотрудничестве с геохимиком П.Чемберлином (P.Chamberlain; Дартмутский колледж, Гановер, штат Нью-Гэмпшир, США) получили новые данные благодаря недавно разработанному изотопному методу.

⁴ См., напр.: Много ли пауку нужно еды? // Природа. 1991. №9. С.114; Еще одна причина полиморфизма у пауков // Там же. 1992. №6. С.112.

Известно, что содержание изотопов того или иного элемента различно даже для близлежащих районов и обусловлено такими факторами, как колебания температуры, количество осадков, состав геологических пород и почв. В свою очередь от изотопного состава почвы зависит содержание изотопов в растениях данной местности, а следовательно, и у животных, питающихся этой растительностью.

Для определения путей миграции монарха ученые использовали изотопы углерода и водорода. Сначала были построены подробные изотопные карты всех районов, где встречались эти бабочки и где они выводились из гусениц.

Далее изучали ткани крыла монархов из 13 пунктов их зимовки на территории Мексики. При сопоставлении с изотопной картой обнаружилось, что они прилетели сюда из центральной части США и с крайнего юга Канады. Оказалось, что гипотеза, согласно которой уроженцы каждой отдельной местности умирают в определенной части мексиканских гор, неверна: место гибели бабочки никак не связано с районом, где она вывелась из гусеницы.

Энтомологов обеспокоило то, что значительное количество данаид выводится на территориях штатов с очень интенсивным сельским хозяйством, где посевы кукурузы и бобовых обильно обрабатываются гербицидами. При этом гибнет и молочай — основная пища монархов.

Science Times. 1998. December 29. P.F5 (США).

Физиология

Внутриутробное облучение

С.И.Сычик, А.М.Стожаров, Б.К.Воронецкий (кафедра радиационной медицины и экологии Минского государственного медицинского института) исследовали состояние щитовидной железы (ЩЖ) у 195 детей, получивших в результате аварии

на Чернобыльской АЭС внутриутробное (пренатальное) облучение, а также у контрольной группы из 220 детей.

Определялось содержание в крови детей гормонов ЩЖ — трийодтиронина (T_3), тироксина (T_4), тироксинсвязывающего глобулина (ТСГ), а также тиреоглобулина. При анализе результатов учитывали побочное влияние различных факторов внешней среды — дефицит йода, дисбаланс микроэлементов, наличие вредных для ЩЖ веществ в воде и продуктах питания — и вводили соответствующие коррективы.

В ходе исследования было показано, что концентрация гормона T_3 у пренатально облученных детей выше, чем в контрольной группе независимо от пола. В то же время у облученных мальчиков наблюдали достоверное снижение концентраций T_4 и ТСГ, а у девочек — увеличение содержания тиреоглобулина и уменьшение содержания ТСГ.

Отклонения в функциональном состоянии тиреоидной системы характерны и для тех детей контрольной группы, которые проживали в Столинском районе Брестской обл.: у них подобные изменения обусловлены недостаточным поступлением йода в организм. Но у детей, подвергшихся пренатальному облучению, изменения в функционировании ЩЖ более выражены. Ученые связывают их с повреждением ЩЖ, которое может сказываться на одном из этапов биосинтеза тиреоидных гормонов.

Проблемы эндокринологии. 1999. Т.45. №1. С.26—29 (Россия).

Психология

«Ты меня уважаешь?»

Обычное дело: старик ворчит, что молодежь относится к нему без должного пиетета. Как проверить, субъективно-возрастное ли это утверждение пожилых, или оно отражает реальное положение дела? Соответствующий дан-

ных по XVIII и XIX вв. нет. Отсюда неясно, с чем исследователь, пытающийся ответить на этот вопрос, может сравнивать нынешнюю ситуацию. Тем не менее если не прямая, то хотя бы косвенная методика предложена М. де Л.Брукком (M. de L. Brooke; Кембриджский университет, Великобритания).

Он считал возможным допустить, что население главой государства чаще всего избирает того, кого уважает. Результаты возрастного анализа президентов США и премьер-министров Великобритании оказались неожиданными, а поведение электората в этих двух англосаксонских странах — противоположным.

В течение двух предыдущих веков английскими премьер-министрами становились лица все более старшего возраста, и только в XX в. этот процесс сменился на обратный. В США столь отчетливой тенденции вообще не отмечалось: в начальные годы страной правили один за другим четыре весьма немолодых президента. Это были отцы-основатели, авторы Конституции, которым к моменту вступления в должность уже приближалось к 60 — по тогдашним понятиям, вполне солидный возраст. Да и в наше время ни, например, Р.Рейгана, ни Дж.Буша молодыми не назовешь. Зато их уравнивают «мальчишки» в Белом доме — Дж.Ф.Кеннеди и Б.Дж.Клинтон — со всеми достоинствами и грехами своих поколений.

Похоже, с ростом общей продолжительности жизни избиратель становится терпимее к «арифметическому» возрасту, так как и сам электорат в среднем стареет. Обратный же эффект вызывается изменениями в законах, которые дают право голоса молодежи. Кажется, второй фактор действует сильнее, чем первый.

Автор исследования — по образованию биолог — видит здесь и другой аспект. Его коллеги, занимающиеся поведением животных, знают, что победа в борьбе за ресурсы и

возможность передать свои гены по наследству нередко зависят от некоего сигнала, свидетельствующего о личных качествах данной особи. В энергетическом плане такой сигнал обходится животному недешево, так что соперник-слабак издать ложный сигнал обычно не в состоянии.

Переносит этот фактор на человеческое общество (допустимо это или нет — иной вопрос), Брук указывает на то, что по крайней мере в Англии 200 лет назад, когда смертность была на высоком уровне, а многие болезни еще не укрощены, способность прожить более 50 лет говорила о генетической характеристике, позволяющей претенденту на важный пост справляться с вызовами среды. В современной Великобритании ожидаемая продолжительность жизни превышает 70 лет, но факт доживания до такого возраста уже почти не указывает на генетические характеристики человека.

Во времена королевы Виктории (конец XIX — самое начало XX в.) премьер-министрами, как правило, становились представители общественной элиты, так или иначе доказавшие способность к пребыванию в стабильной среде. Ныне общество постоянно находится в состоянии «перемешивания», так что идеальной главой правительства можно считать того, кто сумел быстро вознестись в высокие социальные слои, — раз так, то он (или даже она) проявил должную гибкость и в состоянии вести за собой нацию в период серьезных пертурбаций.

Избиратель понял, что пожилой представитель элитарных кругов теперь совсем не обязательно обладает необходимыми для руководства страной физическими и социальными качествами. И если судить по высшему слою общества, то следует признать, что старики, как это ни грустно, ворчать на утрату к ним уважения имеют право. Но это очевидно лишь для Великобритании, а в США пока таких

свидетельств автор исследования не видит.

Nature. 1999. V.398. №6723. P.102 (Великобритания).

Медицина

Старое лекарство, новая опасность

Ранее было известно, что применение циклоспорина — препарата, подавляющего активность иммунной системы при пересадках органов, увеличивает риск заболеть раком, что всегда считалось вредным побочным эффектом. Недавно М.Ходзо с коллегами (M.Hojo et al.; Медицинская школа при университете Тейкио, Кавасаки, Япония) выяснили, что циклоспорин сам по себе способен изменять свойства раковых клеток как *in vitro*, так и *in vivo*.

В опытах *in vitro* они обнаружили, что в присутствии циклоспорина раковые клетки начинают быстрее делиться и двигаться, а значит, легче разносятся (в отличие от нормальных клеток раковые способны расти, не прикрепляясь к твердой поверхности). Влияние *in vivo* изучали на раковых клетках разных типов у мышей. Оказалось, что циклоспорин определенно стимулировал появление вторичных опухолей.

Предположив, что этот препарат вызывает синтез другого вещества, трансформирующего фактора роста (TGF- β), ученые установили, что TGF- β , подобно циклоспорину, действительно может влиять на развитие раковых клеток. Таким образом, старое лекарство ускоряет рост опухоли, но не косвенно, через иммунную систему, а напрямую — влияя на клетки опухоли. Пока, однако, не ясно, действует ли оно таким же образом на предраковые клетки и вызывает ли он превращение здоровых клеток в раковые.

Эти исследования, считает Г.Нейбел (G.Nabel; Университет штата Мичиган, США), позволяют лучше понять, как

«испытанное средство» может стимулировать развитие рака, и использовать эти знания для его лечения.

Nature. 1998. V.397. №6719. P.530—534 (Великобритания).

Экология

Симбиоз растений и грибов повышает продуктивность растительных сообществ

Известно, что большинство наземных растений (80%) живут в симбиозе с микоризными грибами, которые своими гифами оплетают их корни. В чем польза такой ассоциации для высших растений и грибов? Этот вопрос исследовали М. ван дер Хейден, Дж.Клирономос и М.Урсик с коллегами (M. van der Heijden, J.N.Klironomos, M.Ursic et al.; Институт ботаники Базельского университета, Швейцария).

В первом эксперименте изучалось влияние микоризных грибов на структуру 48 растительных сообществ европейских известняковых лугов. Из 11 исследованных видов растений для восьми присутствия грибов было необходимым условием их существования в сообществе. В присутствии разных грибов изменяется биомасса субдоминантных, но не доминантных видов. Уменьшение разнообразия грибов с четырех до одного таксона ведет к снижению биомассы большинства видов и таким образом — к изменению структуры сообщества.

Во втором эксперименте изучали 70 североамериканских растительных сообществ; каждое из них состояло из 15 видов растений, произрастающих в присутствии тех или иных из 23 видов микоризных грибов. Биомасса наземной и подземной частей растений, а также индекс биоразнообразия Симпсона (показатели продуктивности экосистемы) пропорционально повышались с ростом видового разнообразия грибов. Механизм, объяс-

няющий наблюдаемые эффекты, был выявлен в том же эксперименте: с ростом видового разнообразия грибов увеличивалась протяженность грибных гифов и снижалась концентрация фосфора в почве, что говорит о более эффективном его всасывании.

Таким образом, благодаря симбиозу высших растений с микоризными грибами улучшается использование ими питательных веществ почвы, что повышает продуктивность растительных сообществ; их структура зависит от видового разнообразия симбионтов грибов. Это особенно важно для сельскохозяйственных сообществ с ограниченным видовым составом как низших, так и высших растений, что делает их крайне уязвимыми. Nature. 1998. V.396. №6706. P.69—72 (Великобритания).

Экология

Синица — за чистый воздух

Финские орнитологи, возглавляемые Т.Эва (T.Eeva; Университет в Турку), наблюдали за большими синицами (*Parus major*), гнездившимися в радиусе 6 км от г.Харьявалта на юго-западе Финляндии. Здесь находится крупный металлургический завод, выбрасывающий в атмосферу значительное количество оксида серы и тяжелых металлов — меди, цинка, никеля и свинца.

Они обнаружили, что интенсивность желтого цвета в оперении на грудке птицы тем выше, чем дальше расположено ее гнездо от завода. Возрастает по мере удаления от плавильных цехов также масса птенцов и численность гусениц, которыми питаются синицы.

Зеленые гусеницы содержат каротиноидные пигменты, которые, попадая в организм синицы, придают желтоватый оттенок ее перьям. Известно, что самцы синиц с блеклым оперением менее привлека-

тельны для самок. Кроме того, малый вес птицы, выросшей вблизи завода, означает, что ее шансы пережить холодную зиму уменьшаются. Такие особенности в размножении и выживаемости птиц в зависимости от химического состава атмосферы установлены впервые.

Functional Ecology. 1998. V.12. P.607 (Великобритания).

Экология

Черная кайра страдает от потепления

Последние 25 лет в высоких широтах Северного полушария встречается черная кайра (*Uria*). Прежде эта птица не заселяла крайний север Аляски, что объясняется глубоким снежным покровом на протяжении большей части года. Начавшееся в 60-х годах медленное потепление Арктики привело к более раннему наступлению весны и стаиванию снегов, что и позволило птицам здесь гнездиться.

Если в 1966 г. на всем северном берегу Аляски была зарегистрирована лишь одна гнездящаяся пара кайр, то в 1972 г. только на о.Купер (вблизи пос.Барроу) их было уже десять. Между 1975 и 1990 гг. число птиц в этой колонии возросло до 225 пар. Однако с 1990 г. и по настоящее время количество кайр резко сокращается. Сейчас на о.Купер осталось лишь 110 пар.

Орнитолог Дж.Дивоки (J.Divoky; Институт арктической биологии при Университете штата Аляска, Фербэнкс, США) полагает, что причина — в сокращении площади морских льдов из-за активного потепления Арктики, а черная кайра питается полярной треской, живущей под плавучими льдинами. Открытые водные пространства бедны рыбой, поэтому птицам приходится для кормежки улетать далеко в море, что отрицательно сказывается на численности популяции.

Это один из документально доказанных случаев тесной связи между климатическими изменениями в Заполярье и происходящими там биологическими процессами. Климатологи установили, что среднегодовая температура Арктики за последние 40 лет повысилась на 1°C. Потепление же на Аляске и в северо-восточных областях Канады идет вдвое быстрее.

New Scientist. 1998. V.159. №2153. P.12 (Великобритания).

Геофизика

Глубинные источники «горячих точек»

«Горячими точками» называют выходы на поверхность литосферы разогретых пород, поднимающихся из глубин мантии в виде плюмов, образование которых связано с высокотемпературной нестабильностью конкретной области. Однако вопрос о том, насколько глубоко залегают источники плюма, служит предметом давних споров среди специалистов.

Американские сейсмологи из Калифорнийского технологического института в Пасадене и Университета штата Калифорния в Санта-Крус установили, что корни Исландской и Гавайской «горячих точек» расположены на границе мантии с земным ядром, т.е. примерно на 2900 км под поверхностью планеты.

Такой вывод важен в глобальном масштабе, так как Гавайи и Исландию можно считать классическими примерами «горячих точек» с непрерывным подъемом глубинных пород. Источники этих плюмов существуют подолгу, выделяют огромные объемы магмы и обладают характерными геохимическими особенностями, в том числе высоким соотношением изотопов $^3\text{He}/^4\text{He}$, что объясняется происхождением ^3He из не успевшего дегазироваться района мантии.

До сих пор изучением этой проблемы занимались в



Схема строения земных недр, показывающая, что источники восходящих потоков мантии (плюмов) под Гавайями и Исландией находятся на границе мантии и внешнего (жидкого) ядра Земли. Зоны ультракоротких сейсмических скоростей имеют толщину около 40 км, а области горизонтальных потоков около них — 250 км.

основном геохимии. Лишь в последние годы сейсмологи получили изображения тех каналов в верхней мантии и в переходной зоне (410—660 км под поверхностью), по которым поднимается мантийная струя.

Под Исландией обнаружен аномальный район ультракоротких скоростей распространения сейсмической волны, начинающийся на границе ядра и мантии, что указывает на существование здесь источника расплавов, образующих плюм. В этом слое толщиной от 5 до 40 км, расположенном в нижней части мантии, сейсмические волны распространяются как минимум на 10% медленнее. Можно полагать, что резкое падение сейсмических скоростей говорит о присутствии здесь частично расплавленного материала. Согласно модели, построенной Д.В.Хелмбергером с коллегами (D.V.Helmburger et al.; Калифорнийский технологический институт), снижение скорости распространения продольных волн на 10% и поперечных — на 30% свидетельствует в пользу гипотезы частичного расплава.

Группа, руководимая С.Рассел (S.A.Russel; Университет штата Калифорния) использовала иную методику при

анализе поперечных волн, отражающихся от границы между ядром Земли и мантией. Это позволило обнаружить зоны изменения сейсмических скоростей и анизотропию в самых нижних слоях мантии. В результате была найдена область, в которой находится источник гавайской «горячей точки». Геофизик С.Дж.Уолф (S.J.Wolfe; Вудсхолский океанографический институт, штат Массачусетс) считает эти выводы достаточно убедительными. Однако указывает, что пока еще доподлинно не известна протяженность в мантию исландского и гавайского каналов и не ясно, не отклоняются ли их струи в сторону разогретого вещества под влиянием конвекции.

Nature. 1998. V.396. №6708. P.213, 251, 255 (Великобритания).

Вулканология

Угроза от озер-убийц нарастает

На всем земном шаре известны лишь три озера, в водах которых скапливаются огромные количества растворенного газа. Это озера Нюс и Монун в Камеруне и Киву в Заире. Когда давление газа в

этих озерах, имеющих вулканическое происхождение, сильно возрастает, любое крупное нарушение водной стратификации вызывает его взрывообразное выделение в воздушное пространство. Такой процесс подобен тому, что происходит при снятии пробки с бутылки шампанского: резкое падение давления приводит к образованию пузырей, содержащих газ, ранее растворенный в жидкости. Стоит таким пузырям возникнуть в озере, как, быстро поднимаясь к поверхности, они захватывают с собой глубинные воды, вызывая нечто вроде цепной реакции со все увеличивающимся выбросом газа. Такие события чреваты смертельной опасностью для окрестного населения¹.

Исследования показали, что на дне водоемов Ниос и Мунун находятся многочисленные маары — плоскдонные кратеры, образовавшиеся когда-то при мощных вулканических взрывах, а также конусы базальтового шлака. Мунун — часть крупного вулканического поля Бамбуто. Состояние обоих озер на протяжении нескольких лет всесторонне исследует объединенная экспедиция, включающая специалистов из Камеруна, США и Японии. Их последний отчет говорит о новых тревожных фактах²: содержание углекислого газа в обеих акваториях очень высоко и продолжает расти из-за нескончаемого его поступления через расщелины на дне.

Среди мер, которые могли бы устранить опасность, называют выкачивание насосами газонасыщенных придонных вод на поверхность и отвод CO₂ в какое-либо ненаселенное открытое место.

Эксперименты, выполненные на оз.Мунун в 1992 г. и на оз. Ниос в 1995 г., показали реальность подобного подхода. В дополнение к этому полезно постоянно сбрасывать придонную воду по трубопроводу. Ученые передали эти соображения правительству Камеруна, а оно обратилось к властям Японии за помощью в осуществлении проекта.

Наблюдения за озерами-убийцами и разработка методов по их обезвреживанию ведутся под руководством Дж.Клинга (G.Kling; Университет штата Мичиган, Анн-Арбор, США).

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1998. V.23. №12. P.8 (США).

Палеоботаника.
Молекулярная биология

У современной пшеницы разные генетические линии

Согласно археологическим данным, человек начал возделывать дикие виды пшеницы около 10 тыс. лет назад. Такая неолитическая революция стала возможной благодаря окончанию ледникового периода, увлажнению и потеплению климата. Оказалось, что выращивать пищу эффективнее, чем собирать ее. Однако для специалистов оставался неясным вопрос: начал ли человек возделывать почву в сравнительно небольшом регионе, или же люди овладевали этим методом добычания пищи в разных областях и в различное время?

Новый свет на эти события проливают только что завершенные исследования, предпринятые британским специалистом по молекулярной биологии Т.Брауном (Т.В.В. Brown; Институт науки и техники при Манчестерском университете).

Он сопоставил дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК) из ископаемых зерен пшеницы (возраст около 3

тыс. лет), найденных на территории Италии и Греции, с ДНК современных сортов. Такая процедура дает возможность судить о происхождении пшеницы и ходе ее распространения по всей Западной Европе.

Обнаружилось, что существуют две разные генетические линии современной пшеницы. Значит, она была окультурена по меньшей мере дважды, причем на основе различных разновидностей. Исследователь полагает, что пшеницу начали возделывать примерно в одно и то же время, но в достаточно удаленных друг от друга регионах Среднего Востока, откуда она и начала распространяться.

Теперь Браун в сотрудничестве с палеоботаником Г.Джонс (G.Jones; Шеффилдский университет, Англия) исследует процесс распространения обеих линий пшеницы, изучая зерна, обнаруженные при раскопках в различных пунктах и регионах. Не исключено, что им удастся определить местности на Ближнем Востоке, ставшие родиной столь важного для человечества злака.

New Scientist. 1998. V.159. №2151. P.22 (Великобритания).

Палеоклиматология

«Коренные» изменения в древней атмосфере

По геологическим и палеоклиматическим данным, около 390 млн лет назад (девонский период) содержание CO₂ в земной атмосфере «внезапно» снизилось на 45%. О причине столь резкой перемены до сих пор приходится только гадать. Недавно группа американских ученых во главе с Дж.Элик (J.Elick; Университет штата Теннесси, Ноксвилл) предложила свое объяснение этому факту.

Исследователи обратили внимание на то, что у наземных растений, существовавших примерно 410 млн лет назад,

¹ Подробную информацию о предшествовавших катастрофических событиях см.: Озера Мунун и Ниос снова угрожают // Природа. 1995. №5. С.104—105.

² Kling G. et al. Scientific Investigation of Lakes Nyos and Mounun. Preliminary Report. 1998. <http://www.Biology.lsa.umich.edu/~gwk/research/nm98rept.html>

были очень короткие корни, проникавшие в почву всего на несколько миллиметров. Однако, судя по ископаемым остаткам растительности, найденным, например, на территории нынешней канадской провинции Квебек, у части растений корневая система развилась всего за «какие-нибудь» 20 млн лет. Корни достигали уже полуметровой длины, в основании имели толщину до 1 см.

Резкий рост корневой системы способствовал более интенсивному извлечению углерода из атмосферного CO_2 и, соответственно, — переносу углерода в почву при разложении. В результате концентрация атмосферного диоксида углерода заметно понизилась.

Geology. 1998. V.26. №2. P.143 (США).

Палеонтология

Гаргантюавис заставил палеонтологов задуматься

В южной Франции найдены ископаемые остатки нелетающей птицы, жившей около 72 млн лет назад. Ученых поразили размеры этой современной птицы: до сих пор крупнейшими среди меловых видов считались те, что не превосходили по величине нынешнего индюка. Гаргантюавис же (так назвали находку) весил не менее 140 кг. Об этом говорят размеры неплохо сохранившихся бедренных и тазовых костей, изученных палеонтологом Э.Буффето (E.Bouffeteau; Парижский университет). «То, каким образом позвонки животного были прикреплены к тазу, не оставляет сомнений, что перед нами — птица», — заявил ученый.

Трудно представить, чтобы гаргантюавис мог появиться и спокойно существовать в то время, когда на Земле процветали такие его вероятные соперники, как орнитоми-

мозавры (динозавры величинной не меньше или даже крупнее страусов), которые известны по многочисленным находкам в Азии и Северной Америке. Возможно, предполагает исследователь, гаргантюависы населяли некий большой остров, недоступный для их врагов.

Судя по всему, гаргантюавис вымер вместе с динозаврами около 65 млн лет назад, а жившие позже гигантские птицы возникли независимо от него. Но окончательный ответ может быть получен лишь после новых палеонтологических находок. Сейчас же специалистам придется заново осмысливать происхождение сотен ископаемых яиц, найденных недавно на территории Франции. До сих пор палеонтологи считали, что такие крупные яйца могли откладывать только динозавры, хотя конкретные их виды оставались неясными. Теперь же, после находки гаргантюависа, в список «подозреваемых» следует включить и птиц.

Journal of the Geological Society. 1998. №1. V.155. P.1 (Великобритания).

Палеонтология

Летать стало возможно благодаря кислороду

В конце палеозойской эры (370—250 млн лет назад) содержание кислорода в воздухе, по всей видимости, достигало 35% (в настоящее время — 21%), что было связано с широким распространением наземных растений, выделяющих этот газ. Обилие кислорода в отдаленном прошлом могло влиять на эволюцию многих видов. Ряд ученых, и среди них зоолог Р.Дадли (R.Dadley; Университет штата Техас, Остин, США), уже высказывал предположения, что подобный состав атмосферы способствовал появлению гигантских (ныне ископаемых) стрекоз с размахом

крыльев более 70 см. Их существование стало возможным лишь в условиях, когда через пассивные дыхательные пути проходил значительный объем кислорода. Когда же его концентрация снизилась, гигантские стрекозы исчезли.

Ныне Дадли заинтересовал второй «кислородный пик» в истории Земли, на существование которого указывают результаты анализа морских донных пород и математического моделирования палеоклимата. Согласно новым данным, 150 млн лет назад, в середине юрского периода, концентрация кислорода снова поднялась, достигнув 26%. На таком уровне она сохранялась в течение всего мелового и значительной части третичного периода. Это время на Земле снова ознаменовалось появлением гигантских насекомых.

Дадли предположил, что высокая концентрация кислорода послужила толчком для развития различных животных, способных к полету. Точнее определить время, когда позвоночные впервые поднялись в воздух, затруднительно, так как в ископаемых материалах много существенных пробелов. Но известно, что первоптица археоптерикс существовала уже в поздней юре, птерозавры — в триасе, а летучие мыши, вероятно, появились в начале мелового периода.

Когда специалисты обсуждают проблемы, связанные с археоптериксом или птерозаврами, они обычно «помещают» их в природную среду, которая в физическом отношении была подобна нашей. По мнению же Дадли, необходимо учитывать иной состав воздуха древней атмосферы: именно кислород делает его более плотным, облегчая работу крыльев и позволяя тяжелым позвоночным пуститься в полет.

The Journal of Experimental Biology. 1998. V.201. P.1043 (США).

Археология

**Астрономы
каменного века**

Слово «Сахара» давно стало синонимом пустыни. И то, что ее восточная часть, лежащая на юге Египта вблизи Нила, была несколько десятков тысяч лет назад, в эпоху позднего плейстоцена, не менее засушливой, чем ныне, и полностью необитаемой, ни у кого удивления не вызывает. Менее известно, что около 11 тыс. лет назад климат там резко изменился и область летних муссонов охватила большую часть современных территорий Египта и Судана. В египетской Сахаре появились временные озера — то пересыхающие, то вновь заполняющиеся влагой.

Теперь установлено, что одним из таких крупнейших водоемов (10x7 км²) было оз.Набта, расположенное неподалеку от границы Египта с Суданом, к западу от верховьев водохранилища им.Г.А.Насера на Ниле.

В 1997—1998 гг. в этом районе работала международная группа антропологов, археологов и геологов, в том числе Дж.М.Малвилл (J.M.Malville; Университет штата Коло-

радо в Боулдере, США), А.А.Мазар (A.A.Mazar; Геологическое управление Египта в Каире) и Р.Шильд (R.Schild; Институт археологии и этнологии Польской академии наук в Варшаве). Они обнаружили скопления мегалитов, закономерно расположенных в линию или кругами. Рядом с этими явно искусственными сооружениями находились древние поселения, относящиеся к среднему и позднему неолиту. По-видимому, благоприятные климатические условия, сложившиеся здесь 11 тыс. лет назад, позволили кочевникам-скотоводам поселиться в этом районе и перейти к более или менее оседлому образу жизни. В этой связи большой интерес представляют мегалиты Набты, которые, по мнению исследователей, соединяют черты некоего астрономического сооружения и ритуальной площадки.

Мегалиты Набты напоминают известную и ненамного более позднюю «обсерваторию» в английском Стоунхендже: они довольно точно указывают на четыре стороны света, а также на точки солнцестояния. В глазах древнего человека это символизировало рождение, смерть, воду и Солнце; само сооружение ис-



Мегалиты Набты.

пользовалось в похоронных обрядах.

По результатам радиоактивного датирования, около 4800 лет назад район Набты, от которого «отвернулись» муссонные дожди, снова стал засушливым, а население вымерло или покинуло его, возможно, переселившись в Верхний Египет и принеся с собой уже сравнительно усложненную общественную организацию и определенный уровень культуры.

Nature. 1998. V.392. №6675. P.488 (Великобритания).

КОРОТКО

За фундаментальные работы в области геохимии океана лауреатом престижной Больцановской премии стал профессор Скриппсовского института океанографии Хармон Крейг (Harmon Craig). Впервые Международный фонд Больцано (International Bolzano Foundation) награждает ученого за вклад в данную область науки.

Эта премия расценивается как эквивалент Нобелевской и присуждается за достижения в естественных, общественных, гуманитарных науках

и в области международных отношений.

Explorativus. 1999. V.5. №4. P.31 (США).



Как показали палеомагнитные исследования, проведенные Р.Барендрегтом (R.W.Barendregt; Университет Летбриджа, провинция Альберта, Канада), материковое оледенение Северной Америки существенно отличалось от оледенения Кордильер.

Установлено, что в течение эпохи полярности Матуяма (2.58—0.78 млн лет назад) оледенение Северной Америки было более дифференцированным, чем в следующую эпоху Брюнес (моложе 0.78 млн лет). Долгое время льды не проникали в зону прерий Канады и США. Материалы, полученные на о.Банкс (Западная Канада, территория Киватин), дают основания предполагать, что Киватинский центр оледенения вряд ли мог быть главным центром материкового оледенения до

субхрона Олдувай (1.77 млн лет назад).

Оледенение в районе Канадских Кордильер развивалось начиная с эпохи Гаусса (3 млн лет назад) до эпохи Брюнес. В последние 3 млн лет материковое и горное оледенения по-разному реагировали на изменения климата.

Abstracts of XV INQUA Congress. Durban, 3—11 August. 1999. P.15—16 (ЮАР).

В России сотрудниками Центра химии лекарственных средств (Москва) при участии ученых Института медицинской радиологии (г.Обнинск) и Института эпидемиологии и микробиологии им.Л.Пастера (Санкт-Петербург) создан оригинальный препарат для профилактики гриппа А и В — арбидол.

Клинические испытания показали, что арбидол более эффективен, чем широко применяемый сегодня в профилактических целях ремантадин. Так, из числа принимавших арбидол процент заболевших составил 1.45% вместо 7.7% в случае ремантадина.

Действие препарата основано на стимуляции всех звеньев иммунной системы и торможении перекисного окисления липидов. Следовательно, что арбидол при испытаниях не проявлял мутагенного или тератогенного действия, не вызывал аллергических реакций.

Химико-фармацевтический журнал. 1999. Т.33. №3. С.3—11 (Россия).

Психолог Агнес С.Чен с коллегами (A.S.Chan et al., Ки-

тайский университет, Гонконг) показали, что те женщины, которые с шести до двенадцати лет брали уроки музыки, но так и не стали профессиональными музыкантами, на слух лучше запоминают слова. При этом в зрительной памяти разницы между ними и контрольной группой не оказалось.

Это открытие может стать полезным в лечении амнезии, нередко случающейся при травмах головы.

Nature. 1998. V.396. №6707. P.128 (Великобритания).

Группа аргентинских полярников во главе с геологом С.Маренси (S.Marenssi; Антарктический институт, Буэнос-Айрес), работая на о.Вега, который лежит около берегов Антарктического п-ова, у Южного полярного круга, обнаружила там зуб динозавра. Специалисты установили, что такой зуб мог принадлежать представителю утконосых динозавров, существовавших более 67 млн лет назад.

Участвовавшая в исследовании палеонтолог А.Милнер (A.Milner; Музей естественной истории в Лондоне) подчеркивает, что в конце мелового периода климат Антарктиды был намного мягче, чем ныне, средние температуры достигали 10°C и леса составляли основной элемент ландшафта.

Однако неясно, каким образом динозавры, населявшие Северную Америку и Азию, могли достичь берегов Антарктиды. По мнению геофизиков, это стало возможным благодаря существованию в те времена ранее не известного науке сухопутного «моста», соединявшего крайнюю

оконечность Южной Америки с Антарктидой. Остатками этого «моста» можно считать современные Южные Шетландские о-ва, лежащие в проливе Дрейка, и Огненную Землю.

New Scientist. 1998. V.157. №2121. P.21 (Великобритания).

На выставке «Динофест», которая сопровождала конференцию, посвященную изучению ископаемых ящеров (Филадельфия, 1998), были продемонстрированы остатки недавно найденного апатозавра.

Вообще-то скелетные находки этого 25-метрового ящера, в популярной литературе часто именуемого бронтозавром («громовой ящер»), — не редкость. Но, как правило, их черепа бывают сильно повреждены или же вовсе отсутствуют, а этот экземпляр отличается превосходной сохранностью и головы, и всех шейных позвонков. Видны отчетливые следы даже самых мелких каналов, сквозь которые к черепной коробке шли кровеносные сосуды и нервные волокна. Их обилие и разветвленность говорят о высокой чувствительности ящера. Не исключено, что «лицевые» ткани апатозавра были способны вибрировать при дыхании, издавая звуки низкой частоты.

Полностью сохранившаяся челюсть, возможно, позволит решить, наконец, старую загадку: каким образом голова длиной «всего» полметра могла перерабатывать достаточное количество растительной пищи для 30-тонного гиганта-вегетарианца.

New Scientist. 1998. V.158. №2132. P.23 (Великобритания).

Природные процессы и их вариации

А.А.Замятнин,

доктор биологических наук

Институт биохимии им.А.Н.Баха РАН

Москва

ВРЕМЕННЫЕ вариации различных процессов как в неживой, так и в живой природе человек наблюдает с древнейших времен, а глубина и охват этих наблюдений постоянно растут, особенно в XX в. В неживой природе в первую очередь они связаны с вращением Земли вокруг Солнца, а в живой — со сменой поколений во всех биологических видах, населяющих Землю, и их биоритмами.

На первом Всесоюзном симпозиуме по колебательным процессам в биологических и химических системах (Пушино, 1966 г.) было заявлено, что «в основе всех видов биологического движения находятся колебательные (циклические) процессы». Однако до недавнего времени не было возможности проводить анализ всех этих разнообразных вариаций. Одна из причин — разбросанность данных по различным геофизическим, биологическим, медицинским и другим, порою редким, изданиям. Другая заключается в том, что эти результаты существуют в весьма разнообразных формах — от летописных до компьютерных. Вот почему коллектив энтузиастов Института физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН и других организаций попытался собрать эти данные, подвергнуть единой обработке и издать в виде атласа.

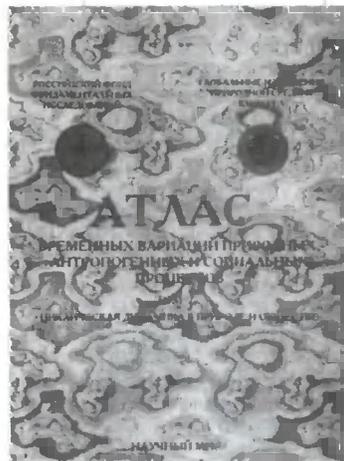
К настоящему времени вышло два тома: Атлас временных вариаций природных процессов. Т.1: Порядок и хаос в литосфере и других сферах (М., 1994) и Атлас



АТЛАС ВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ ПРИРОДНЫХ, АНТРОПОГЕННЫХ И СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ: в 2 т. М.: Научный мир, 1998.

временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т.2: Циклическая динамика в природе и обществе (М., 1998).

Первый том состоит из двух частей: в одной приводится информация общего содержания — идеология, постановка проблемы, подход, методы наблюдений и обработки результатов, а в другой — фактические данные, результаты их обработки и трактовка. Основное внимание здесь уделено процессам, происходящим в литосфере в разные промежутки времени — от часов (суток) до столетий. Наиболее детально оценены результаты сейсмического мониторинга литосферы в Южном Таджикистане.



Кроме того, в первом томе рассмотрены и другие вопросы, связанные с современной геодинамикой отдельных частей Земли. При этом взяты примеры из разных наук о Земле, различные объекты и масштабы пространства и времени. Сопоставлены процессы, происходящие в Земле и Луне. Авторы попытались исследовать некоторые из них, протекающие в Каспийском, Аральском морях и других водоемах, а также отдельные явления, происходящие в атмосфере и животном мире.

Первый том атласа состоит из 10 глав. Второй — существенно превосходит его по объему. Он посвящен памяти выдающихся ученых России — А.Л.Чижевского, В.И.Вернадского и Н.Д.Кондратьева, внесших огромный вклад в развитие наук об эволюции Земли и биосферы, в развитии земных, биологических и социальных связей с космосом. В этом

томе собраны данные о природных, антропогенных и социальных процессах в разных масштабах пространства и времени, а также современные методы их анализа. Рассмотрены космос, литосфера, атмосфера, гидросфера, а также социальная сфера. Выявлены их фундаментальные закономерности в природе и обществе. Сформулированы и обоснованы предложения о создании единой системы комплексного геодинамического, экологического, социального и медицинского мониторинга для улучшения экологической и демографической ситуации, устойчивого развития России.

Материал атласа скомпонован в основном в виде временных рядов, обработанных при помощи спектрально-временного анализа. Это позволило получить качественные и количественные данные о протекании нестационарных процессов в различных средах и объектах и сделать выводы об их общих и частных закономерностях.

Уже проведено первое публичное обсуждение содержащихся в атласе материалов на заседании секции геофизической биологии Научного совета по проблемам физики Земли Отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук РАН. Было отмечено, что, несмотря на существование огромного материала по исследованию временных процессов и выявление целого ряда важнейших корреляций, еще оспаривается достоверность подобных результатов. Например, при составлении программы II съезда биофизиков России (1999) состоялась очень острая дискуссия о целесообразности проведения специального симпозиума, посвященного космофизическим явлениям в биологии. Видимо, существование такого недоверия вряд ли оправ-

дано. В статье О.Г.Газенко, опубликованной во втором томе и посвященной одному из основоположников космической биологии, приведен такой факт. А.Л.Чижевский еще в 1914 г. задал К.Э.Циолковскому следующий вопрос: «Могут ли циклы солнечной активности иметь влияние на мир растений, животных и даже человека?» Подумав, Циолковский ответил: «Было бы совершенно непонятно, если бы такого действия не существовало. Такое влияние, конечно, существует и спрятано в любых статистических данных, охватывающих десятилетия и столетия. Вам придется зарыться в статистику, касающуюся живого, и сравнить одновременность циклов на Солнце и в живом». Очевидно, что атлас как раз и предназначен для сбора соответствующих данных и помогает не только «зарыться в статистику», но и получить целый ряд принципиально новых результатов в данной области. Впрочем, однозначного ответа на вопрос Чижевского пока, увы, нет.

Несомненное достоинство атласа — в стремлении авторов представить самые разнородные данные в едином формате, что позволяет сравнивать процессы, изучаемые в рамках научных направлений, которые далеко отстоят друг от друга. Однако можно высказать и ряд замечаний.

Во-первых, в общей структуре атласа проглядывает в какой-то мере случайный, а не систематический набор рассматриваемых процессов и проблем. По-видимому, это связано с разной степенью доступности составителей и авторов к соответствующей информации. Но в наше время, когда успешно функционирует международная компьютерная сеть Internet, многие большие массивы информации без большого труда могут быть извлечены из

далеко расположенных источников и затем представлены в соответствующей форме. К ним, например, относятся многолетние (с 1880 г.) и систематические данные измерения температур воздуха по всей координатной сетке Земли.

Следующее замечание относится к оформлению. При чтении первого тома читатель испытывает трудности в определении авторов конкретных разделов (статей), поскольку эти авторы упомянуты лишь в предисловии и противоречат колоннитулу, в котором через все издание проходят лишь три фамилии. Во втором томе уже не представляет труда определить авторов разделов. И все же они упомянуты лишь в оглавлении, а было бы более удобно, если бы их имена вместе с названием предваряли каждую главу. Эти недостатки легко могут быть устранены при издании следующих томов и переизданиях атласа.

В заключение еще раз отметим, что атлас представляет собой, во-первых, фундаментальный труд, содержащий новые результаты и формулирующий новые проблемы, во-вторых — справочное пособие, в-третьих — книгу, в которой далеко не все данные уже поняты и объяснены. Читателю предоставлена возможность творческого прочтения этих книг и дается повод для размышлений. Конечно, представленные данные и результаты нуждаются в должном анализе. Но уже сейчас следует признать, что атлас является уникальным собранием междисциплинарных исследований, подобную работу необходимо продолжать с целью накопления и публикации этих сведений для дальнейших обобщений.

Составители уже планируют работу над третьим томом.

Охрана природы

Н.Г. Коломиец, Д.А. Богданова. БОЛЬШОЙ ЕЛОВЫЙ ЛУБОЕД В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ СИБИРИ. Новосибирск: Наука СО РАН, 1999. 112 с.

Большой еловый лубоед (*Dendroctonus micans*) из семейства короедов (*Scolytidae*, или *Ipidae*) относится к отряду жесткокрылых, или жуков, (*Coleoptera*). В отличие от настоящих короедов он поселяется не на валежнике, буреломе, свежезаготовленной древесине и пнях, а на здоровых деревьях, причем на одних и тех же в течение нескольких лет.

Массовое размножение большого елового лубоеда в Западной Сибири представляет собой редкий, едва ли не уникальный случай. Вредитель неожиданно для всех дал катастрофическую вспышку массового размножения и за 15—20 лет прочно вошел в комплекс важнейших ксилофагов.

В книге впервые собраны материалы по таксономии, распространению, поведению, циклам развития, естественным врагам и ландшафтно-экологическим особенностям размещения большого елового лубоеда — серьезного вредителя культуры сосны лесостепной зоны Западной Сибири. Авторы дают оценку существующим мерам защиты леса.

География

А.Н. Рудой. ФЕНОМЕН АНТАРКТИДЫ. Томск: STT, 1999. 128 с.

Главная особенность Антарктиды — ледниковый покров мощностью более 4 км в центральных частях, существующий не менее 30 млн лет.

В нетрадиционной литературной форме, которую можно представить как научно-популярную художественную публицистику, в книге рассказывается не только о природных особенностях мате-

рика (снежно-фирновой и ледниковой толще), но и о жизни и работе полярников во внутриконтинентальных санно-гусеничных походах по Антарктиде и на станциях «Мирный», «Молодежная» и «Восток». Книга документальна, реальные и все действующие в ней герои.

В конце книги приведен список научной и научно-популярной литературы гляциологического направления об Антарктиде с комментариями автора.

Гляциология

В.П. Галахов, Р.М. Мухаметов. ЛЕДНИКИ АЛТАЯ. Новосибирск: Наука СО РАН, 1999. 135 с.

Вышла новая книга, рассказывающая о ледниках Алтая. Что это — переосмысление старого материала или неопубликованная ранее информация?

За последние 20 лет гляциологическое изучение современных ледников достигло определенных успехов вследствие выполнения программы Международного гидрологического десятилетия (МГД) и ее продолжения — Программы наблюдений за колебаниями ледников.

В книге обобщены новые результаты, касающиеся современного режима и колебаний ледников Алтая в опорных горно-ледниковых долинах. Создана имитационная модель расчета режима ледников, с помощью которой исследовано влияние климатических характеристик на их баланс. Сделана попытка построить кривую изменения термического режима на Алтае за последние 20 тыс. лет и оценить динамику ледников в позднем плейстоцене и голоцене для выяснения неотектонических колебаний в районах древнего оледенения.

Книга написана гляциологами. В области описательной географии, метеорологии и климатологии они пользуют-

ся материалами других ученых, в частности, коллег по Алтайской гляциологической экспедиции.

Геология

А.Д. Харькин, Н.Н. Зинчук, А.И. Крючков. КОРЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ МИРА. М.: Недра. 1998. 555 с.

В настоящее время в мире известно около 2000 кимберлитовых тел, среди которых более чем в 300 трубках и дайках обнаружены алмазы. Промышленные концентрации выявлены только в нескольких десятках, а добыча производится всего в 23 кимберлитовых трубках и одной лампроитовой. В книге обобщен и систематизирован фактический материал более чем по 50 алмазоносным трубкам. Наиболее детально — кимберлитовые трубки Якутии: Ботубобинская и Нюрбинская. Впервые опубликованы сведения о кимберлитовых трубках Архангельской области.

Приведены характеристики промысленных алмазоносных месторождений ЮАР, Ботсваны, Танзании (ныне республика Конго), Анголы, Китая, Индии и Австралии. Описание каждой трубки включает ее положение в структуре поля, геологическое строение (горизонтальные и вертикальные разрезы), типы кимберлитов, содержание и химический состав минералов-спутников, морфологию и физические свойства алмазов.

Б.С. Лунов, О.Б. Наумова. АТЛАС ФОРМ РЕЛЬЕФА. Пермь: ПГУ, 1999. Т.2: Формы рельефа Земли. 316 с.

Кругозор геолога в значительной мере зависит от количества увиденного натурального материала (горных пород, минералов, флоры и фауны). В геоморфологии эта проблема пока не решена: музеев с образцами форм рельефа нет, на лекцию объект исследова-

ния для демонстрации принести нельзя. Имеющиеся учебники недостаточно насыщены графическим материалом.

В этом томе на рисунках, фотографиях и схемах представлены формы рельефа, возникшие под влиянием факторов, проявляющихся на больших территориях (континентах, океанах) и локально (склонах, долинах, равнинах). Без учета форм рельефа невозможно строить простые инженерные сооружения (дороги, дома), а тем более сложные (гидроэлектростанции, атомные станции). Авторы рассматривают как мегаформы рельефа континентов (равнинный и горный), так и мезо-, микроформы (водоразделы, речные долины), а также мегаформы рельефа океанов.

Помещен специальный раздел по формам рельефа Прикамья.

История науки

ОТ ЗЕМЛЕМЕРНОЙ ШКОЛЫ ДО УНИВЕРСИТЕТА: ОЧЕРКИ ИСТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ПО ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВУ ЗА 1779—1999 ГГ. / Под ред. С.Н.Волкова. М.: Колос, 1999. 512 с.

Весной 1999 г. Государственный университет по землеустройству отмечает важную дату — 220 лет со дня основания.

25 мая 1779 г. указом Правительственного сената по Межевой канцелярии было объявлено об открытии землемерной школы, которую назвали Константиновской в честь родившегося в тот год внука Екатерины II, Великого князя Константина Павловича. Государство покровитель-

ствовало этому учебному заведению, придавало особое значение землемерному делу и специальному межевому (землеустроительному) образованию.

В те времена в России широко развернулись работы по генеральному межеванию, основной целью которой была проверка земельных прав и выявление незаконно захваченных казенных земель, а также установление границ землевладения и разграничение их с землепользованием.

Государственная важность межевания и нехватка землемеров послужили главной причиной образования Константиновской землемерной школы. В 1819 г. школа превратилась в училище, а в 1835-м — в Константиновский межевой институт и с этого времени считается высшим учебным заведением. Первым директором института стал писатель Сергей Тимофеевич Аксаков, русский язык преподавал В.Г.Белинский, историю — И.Е.Забелин. Первоначально это было закрытое учебное заведение, в котором обучалось 200 человек, срок обучения — четыре года.

В книге описаны основные этапы развития университета как высшего землеустроительного учебного заведения России.

АТОМНЫЙ ПРОЕКТ СССР. ДОКУМЕНТЫ И МАТЕРИАЛЫ. В 3 т. / Под общ. ред. Л.Д.Рябева. Т.1. (1938—1945): В 2 ч. Ч.1. / Отв. сост. Л.И.Кудинова. М.: Наука. Физматлит, 1998. 432 с.

Сборник, посвященный созданию ядерного оружия в СССР, охватывает период с 1938 по 1945 г. В нем около 300 документов выдающихся

ученых, постановления СНК СССР, Государственного комитета обороны, материалы разведки, касающиеся «урановой проблемы», и др. Составители использовали подлинные документы, ограничившись лишь поясняющими комментариями. Именно это обстоятельство, в отличие от других видов публикаций, вносит необходимый элемент достоверности, лишенный субъективизма. Материал, систематизированный в хронологическом порядке, позволяет проследить логику событий, которые привели в конечном счете к созданию и атомной бомбы, и атомных электростанций.

Книга охватывает историю предвоенного развития ядерной физики, становления отечественной атомной промышленности и создания первых образцов атомного оружия СССР. В ней отражены важнейшие вехи в истории атомного проекта СССР: запуск физического реактора, создание промышленного производства плутония, ввод в эксплуатацию завода по разделению изотопов урана и получению высокообогащенного урана-235, пуск экспериментальных и промышленных установок по получению других ядерных и конструкционных материалов.

В первых двух томах речь пойдет об атомной бомбе. В третьем — о водородной. Подготовка первого тома проведена Государственным научным центром РФ «Физико-энергетический институт им.А.И.Лейпунского». Материалы второго и третьего томов готовятся к изданию Росским федеральным ядерным центром «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики».

Впечатления о Павлове и Шеррингтоне

Рагнар Гранит

Все три действующих лица этого небольшого очерка, т.е. его автор Рагнар Гранит (1900—1991), а также герои повествования Иван Петрович Павлов (1849—1936) и Чарлз Шеррингтон (1857—1952) — лауреаты Нобелевской премии по физиологии. Павлов и Шеррингтон работали в одной области, занимаясь изучением центральной нервной системы. Однако их научные подходы не пересекались — это были две различные стратегии, оказавшие сильное воздействие на дальнейшее развитие физиологии высшей нервной деятельности. А каковы были взаимоотношения между ними? Любопытно свидетельство на этот счет Рагнара Гранита, директора Нобелевского института нейрофизиологии в Стокгольме. Его воспоминания, которые мы сегодня предлагаем читателям, были опубликованы в Голландии в журнале «Neurosciences» (1982. V.5. №6).

МЕНЯ попросили прокомментировать взаимоотношения между Павловым и Шеррингтоном; это трудная задача, поскольку нельзя утверждать, что между ними существовали тесные научные контакты.

Павлов был на восемь лет старше Шеррингтона, так что его лучшая работа, которую я прочитал в немецком переводе в 20-е годы («Лекции о работе главных пищеварительных желез»), должна была произвести впечатление на молодого Шеррингтона. В 1897 г. это была первоклассная работа для своего времени. Она принесла Павлову Нобелевскую премию в 1904 г. — в этот период Шеррингтон читал курс лекций в Йельском университете по интегративной деятельности нервной системы.

В 1972 г., когда я был в Балтиморе, покойный профессор В.Г.Гент показал мне

письмо, в котором Шеррингтон просил у Павлова рекомендации на пост заведующего кафедрой физиологии в Оксфорде. Это хорошее свидетельство доверия, которое питал к Павлову его младший коллега. В 1916 г. Шеррингтон посетил Санкт-Петербург. В его воспоминаниях есть живое описание этой поездки, в том числе дружеского обеда в семье Павлова. Весной 1928 г., когда я работал в лаборатории Шеррингтона, Павлов приезжал к нам вместе с сыном, который выполнял роль переводчика.

Работая над книгой о Шеррингтоне, я обратился к дневникам и статьям американского физиолога Джона Фултона. Он рассказывает, что на международном съезде неврологов в Берне в 1931 г. Шеррингтон высказался в том смысле, что Павлов представил гору экспериментального материала, но не знает, как его объяснить. Если верить



Рагнар Гранит.

Фултону, Шеррингтон называл павловские объяснения «беспомощными», но это словечко все же скорее всего принадлежит самому Фултону.

Со своей стороны Павлов резко раскритиковал идеи Шеррингтона относительно роли центрального торможения на одной из павловских «сред» (19 сен-



В лаборатории. В первом ряду справа от И.П. Павлова — Ч.Шеррингтон. 1916 г.

тября 1934 г.). В заключение он разразился такой темпераментной тирадой: «Я просто делаю предположение, что он (Шеррингтон) больной, хотя ему всего 70 лет, что это явные признаки постарения, одряхления»¹. На самом деле Шеррингтону в то время было уже 77. Павлов умер спустя два года, а Шеррингтон дожил до 1952 г., создав ко всему прочему свой величайший труд «Человек по своей природе», опубликованный в 1941 г. Неизвестно, была ли отчужденность, возникшая в 1931—1934 гг. между двумя великими экспериментаторами, откровенной или скрытой, но так или иначе она проистекала из их совершенно различного понимания путей и

методов изучения центральной нервной системы, в частности проблемы торможения. Линия Шеррингтона в 1932 г. «одобрена», если можно так выразиться, присуждением ему совместно с Э.Эдрианом Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Тонкий аналитик нервных механизмов секреции желез желудка, Павлов преврал эту работу и стал биохевиористом. Из физиологии он заимствовал термин «рефлекс» для описания очень сложных, протяженных во времени центральных процессов. Несмотря на исключительную тщательность разработки Павловым «условных рефлексов», мое поколение считало его результаты недостаточно серьезными.

Шеррингтон же занимался нейронными системами, на которых, собственно, и разыгрываются все рефлекторные явления. Он пришел из гистологии, где имел дело непосредственно с нейронами. Его кредо: «Ни-

где в физиологии клеточная теория не подтверждается настолько часто самой сущностью явлений, как это имеет место в настоящее время в изучении нервных реакций»². То же можно сказать и о теоретических построениях, которые он создавал для объяснения экспериментально полученных материалов.

Я не буду обсуждать здесь понятия «возбуждение» и «торможение нейронов». После работ Эдриана и Шеррингтона эти термины получили точное объяснение, подтвержденное и разработанное далее внутриклеточными исследованиями Дж.Экклса с сотрудниками. В ходе дальнейшего развития классической физиологии поколения, пришедшие на смену Эдриану и Шеррингтону, использовали все новые и новые достижения электроники для тонко-

¹ Павлов И.П. Избранные произведения. М.; Л., 1951. С.494.

² Шеррингтон Ч. Интегративная деятельность нервной системы. Л., 1969. С.115.

го изучения нейронных явлений. Это соответствовало тому направлению, которого придерживался и сам Павлов в первой половине своей жизни, когда изучал желудочную секрецию. Большой друг Павлова Роберт Тигерштедт уговаривал его бросить «условные рефлексы» и вернуться к «настоящей» физиологии! Новые перспективы появились в 1902 г. после важного открытия секретина, гормональной регуляции пищеварения. Вплоть до настоящего времени, когда Р.А.Грегори окончательно выяснил функции и состав гастрина, эта область оставалась весьма плодотворной. Почему же Павлов покинул ее?

Его ученик Б.П.Бабкин считает, что именно открытие секретина послужило тому толчком. Как вспоминает Бабкин, Павлов говорил, что эта работа «потрясла самые основы учения об исключительно нервной регуляции секреторной деятельности пищеварительных желез». Затем он попросил В.В.Савича повторить опыты с секретинном. «Эффект секретина был самоочевиден... Не произнеся ни слова, Павлов вышел. Он вернулся через полчаса и сказал: «Конечно же, они правы. Ведь ясно, что мы не можем обладать монополией на истину».

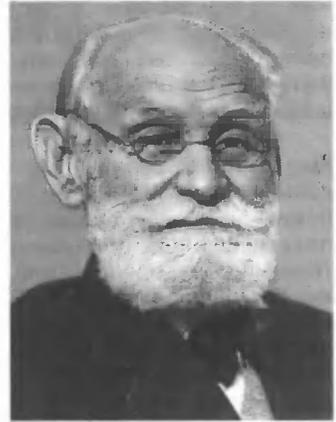
ЛИЧНЫЕ ВПЕЧАТЛЕНИЯ

У меня было много возможностей наблюдать Шеррингтона в различных ситуациях: во время опытов, на практикуме по физиологии млекопитающих, в Королевском обществе, у него дома, в колледже Св.Магдалины и в Атениуме. А Павлова я видел только раз — в лаборатории Шеррингтона.

Встретив в Оксфордской лаборатории меня, молодого человека, приехавшего из Института Тигерштедта, Павлов стал вспоминать свои многочисленные визиты в этот институт во времена старшего Тигерштедта (Роберта), своего друга, который активно способствовал выдвижению его кандидатуры на Нобелевскую премию. Я не вижу другого объяснения тому, что он столько времени провел в беседе с молодым физиологом. Павлов бегло говорил по-немецки. Предмет нашего разговора успел улетучиться из моей памяти, но я как сейчас помню его лицо с глубоко сидящими небольшими серыми глазами под высоким лбом и пронизывающий взгляд. Он казался каким-то печальным, даже суровым, но ни высокомерия, ни равнодушия в нем не было и в помине, хотя ему было уже под восемьдесят. Он с неподдельным интересом расспрашивал меня о работе, о планах, говорил медленно, взвешивая каждое слово. Сама личность Павлова даже в большей степени, чем его репутация, сделала эту встречу столь памятной для меня. Это был замечательный человек, несомненно замечательный.

Перечитывая «Письмо к молодежи», я и сейчас нахожу его искреннейшим и благороднейшим посланием будущим исследователям. Я бы сделал исключение только для одного положения. Он говорит, что наука требует от человека всей его жизни, и если было бы две жизни, то и их бы не хватило. Мне все же это кажется преувеличением.

Современники так описывали портрет Шерринг-



Иван Петрович Павлов.



Чарлз Шеррингтон.

тона: небольшого роста, примерно 5 футов 6 дюймов (165 см), очень точен и аккуратен в движениях; пристальный взгляд и, несмотря на небольшую близорукость, неизменное пенсне. Живые, насмешливые серые глаза и веселая, легкая, дружелюбная манера общения. Это был один из самых мягких людей, каких я когда-либо встречал, он редко сердился и вместо этого обычно говорил «ну, дорогуша моя...»

или «очень, очень досадно». Его мягкость в обращении не исключала сильных эмоциональных вспышек.

Перед моим мысленным взором Шеррингтон и поныне стоит как живой. Я помню и его добродушное похихикивание, и заразительный смех, представляю, как благодаря своей необычайной зрительной памяти он воспроизводит опыты прошлого века и рассказывает об их авторах. Когда бывал в настроении, он становился первоклассным рассказчиком. Отличался наблюдательностью настоящего биолога. Эта наблюдательность казалась тем более удивительной, что обычно он выглядел типичным рассеянным ученым, но когда спускался посмотреть, что вы там делаете в лаборатории, то являл собой полную противоположность

— воплощение абсолютной сосредоточенности и острого интереса. При демонстрации опытов в аудитории он никогда ни в чем не ошибался. До самого конца сохранял тайную привязанность к своему первому микроскопу. Его последняя экспериментальная работа, как и первая, была гистологической и касалась так называемых «краевых клеток» в спинном мозге.

Шеррингтон отличался от большинства физиологов, которых я знал, тем, что получил в юности глубокое гуманитарное образование, которое оказывало на него сильнейшее влияние всю жизнь. В молодости это отразилось в его занятиях поэзией, а в пожилом возрасте в трудах: «Человек по своей природе», «Жан Фернель», «Гёте и», разумеется, в его интересе к людям.

НАСЛЕДИЕ

Если говорить об основном направлении дальнейшего развития физиологии центральной нервной системы, то здесь павловская теория, похоже, не оказала сколько-нибудь заметного влияния. Физиология, а затем и отпочковавшаяся от нее нейрофизиология пошли по пути, указанному Шеррингтоном. Все по-настоящему значительные теоретические и экспериментальные достижения этого столетия (включая даже кибернетику) основываются на изучении нейронов и различных типов их взаимодействия — химического, электрического или пространственного. Все то немногое, что мы знаем об «обучении» — это знание на клеточном уровне.

Перевод с английского
доктора биологических наук
В.М.Ковальсона

Над номером работали
Ответственный секретарь
Ю.К.ДЖИКАЕВ

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
О.Ф.ЛАЗАРЕВА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
М.Я.ФИЛЬШТЕЙН
Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА
Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА
Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Компьютерный набор
Е.Е.ЖУКОВА
Компьютерная графика
О.Г.ЧЕКИНА
Компьютерная верстка
Д.А.БРАГИН
Перевод
П.А.ХОМЯКОВ
Корректоры
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Л.М.ФЕДОРОВА

Издательство «Наука» РАН

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 11.10.99
Бумага типографская №1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 67,8 тыс.
Уч.-изд. л. 15,1
Заказ 2993

Отпечатано в
ППП «Типография «Наука»
121099, Москва,
Шубинский пер., 6

ПРИРОДА

12⁹⁹



Великолепный лектор, послушать которого съезжались не по обязанности, а из интереса. Великий строитель, за плечами которого университетский городок на Ленинских горах, Институт научной и технической информации и Институт элементоорганических соединений. Дважды президент Академии наук СССР, инициировавший создание около 20 институтов и академических городков — в Новосибирске и Пущине. Доктор *honoris causa* нескольких иностранных университетов, лауреат Государственных премий, дважды Герой Социалистического Труда, кавалер семи орденов Ленина, ордена Кирилла и Мефодия (Болгария), золотой медали им. М.В. Ломоносова и золотой медали «За заслуги перед наукой и человечеством» (Чехословакия). Человек, ценивший и знавший поэзию, сам писавший стихи и картины. Все это — Александр Николаевич Несмеянов, выдающийся химик, признанный во всем мире.

ОН БЫЛ НЕ ТОЛЬКО ХИМИКОМ

ШТРИХИ НЕХИМИЧЕСКОЙ БИОГРАФИИ

Несмеянов А.Н. ТРИ ГЛАВНЫХ ДЕЛА МОЕЙ ЖИЗНИ

Индекс 70707

ISSN 0032-874X. Педагогика, 1999, № 11, 1-93