

# **ПРИРОДА**

**2000 5**



**ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

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), 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.Т.ИВАНОВ** (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.ЧЕРЕПАЩУК** (астрономия, астрофизика).

### НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.

Реликтовые трубы черных курильщиков с альвинокарбидными креветками. Гидротермальное поле Рейнбоу (Срединно-Атлантический хребет). Глубина 2300 м.  
См. в номере: **Ленин А.Ю., Москалев Л.И., Богданов Ю.А., Сагалевиц А.М.** *Гидротермальные системы океана и жизнь.*

Фото Ю.А.Володина из архива ИО РАН

### НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.

Раздраженная присутствием человека, гадюка угрожающе шипит.  
См. в номере: **Булавицев В.И.** *Гадюка.*

Фото автора



**В НОМЕРЕ:****3 Слезингер И.И.****Вспомниая "Катюшу"**

К 55-летию Победы

Легендарные "Катюши" как и все минометы того времени, обладали низкой кучностью стрельбы. В 1943 г. ученые нашли остроумный способ устранить этот недостаток, причем фактически ничтожными средствами.

**12 Стунжас П.А., Сапожников Ф.В.****Эти удивительные диатомей**

Вопреки устоявшемуся мнению, планктонные колониальные центрические диатомовые водоросли способны к активному и значительному вертикальному перемещению.

**19 Васильев В.А.****Автоколебания в жидкофазных химических системах**

Обнаружению автоволн в гомогенной среде безуловно сопутствовала удача — слишком узка в этой системе область существования колебаний, гораздо вероятнее — ее монотонное поведение.

**26 Игнатьев С.М., Зуев Г.В.****Новый чужомерец в Черном море****Резонанс****30 Колодезников К.Е., Ивсенен Г.В.****Открытие месторождения Хонгуруу****32 Дубовский П.Б.****"Треугольник" моделей коагуляции и гель-переход в дисперсных системах**

В отличие от живых организмов популяция частиц дисперсной системы обычно не размножается, а сокращается из-за укрупнения частиц. Несмотря на огромное разнообразие самих систем, описание их эволюции возможно в рамках всего трех взаимосвязанных моделей.

**Лекторий****38 Гомазков О.А.****Эндотелий — "эндокринное дерево"**

Появление нового понятия "васкулярная медицина" обязано накоплению знаний об эндотелии — могучем эндокринном органе, который до сих пор не перестает удивлять своей сложностью.

**47 Лени А.Ю., Москалев Л.И.,****Богданов Ю.А., Сагалевич А.М.****Гидротермальные системы океана и жизнь**

На сегодняшний день в Мировом океане обнаружено чуть менее 100 активных гидротермальных полей с уникальными биологическими сообществами, зависящими целиком от геотермальной, а не солнечной энергии.

**56 Мащенко Е.Н.****Островные виды карликового мамонта****Заметки и наблюдения****58 Булавинцев В.И.****Гадюка****61 Щербатых Ю.В., Ноздрачев А.Д.****Физиология и психология страха**

Нет людей, которые не испытывают страха, но предмет и выраженность этого чувства у всех разные. Что же касается социальных страхов, то они меняются вместе с обществом и составляют его своеобразный портрет.

**68 Никольский И.Д.****Коллекции записей звуков природы****Комментарий****69 "В каждой шутке есть доля правды"****71 Левит Г.С.****Критический взгляд на ноосферу В.И.Вернадского****Новости науки****77**

№ Новая океанографическая программа "Argo" (77). — Космическая ультрафиолетовая обсерватория (77). — Тайна Черного облака. Сурдин В.Г. (78). — Атмосфера и полярные сияния на Ио (79). — Озонная дыра поставила рекорд (80). — BESSY переедет на новую квартиру (80). — Личинки коралловых рыб остаются на месте. Гиляров А.М. (81). — Мутантные мыши живут дольше (81). — Еще одна герпетофаунистическая находка в Европе. Семенов Д.В. (82). — Белухи в ледовых ловушках (83). — Радиоактивные отходы предлагается хранить в Нью-Мексико (83). — Алмазные месторождения на Украине? Лаужин С.А. (84). — Закономерности расположения вулканических островов (85). — Колима продолжает извергаться (86). — Мексиканская система оповещения (86). — Природные катастрофы: итоги 1998 года (86). — Ископаемому коню в зубы смотрят (87).  
Коротко (25, 37, 46).

**Рецензии****88 Ранюк Ю.Н.****Тайна Хеутерманса****Новые книги****92****Встречи с забытым****93 Богданов В.В.****"Негостеприимная земля"**

(Путешествие Брема по Западной Сибири)

**CONTENS:**

**3 Slezinger I.I.**

**Remembering the Katyusha**

*The legendary Katyusha rocket guns, as well as all mortars of that time, had a low accuracy of shooting. In 1943, scientists found an ingenious way to eliminate this shortcoming at very low cost. Once updated, Katyushas became a model of multibarrel artillery guns.*

**12 Stunzhas P.A. and Sapozhnikov F.V.**

**These Amazing Diatoms**

*Contrary to traditional wisdom, planktonic colonial centric diatoms are capable of active and significant vertical migration.*

**19 Vavilin V.A.**

**Self-oscillations in Liquid-Phase Chemical Systems**

*The discovery of self-oscillations in homogeneous media was undoubtedly a matter of luck: in this system, oscillations exist within a too narrow domain and monotonic behavior is much more likely.*

**26 Ignatyev S.M. and Zuev G.V.**

**A Newcomer in the Black Sea**

**Response**

**30 Kolodoznikov K.E. and Ivensen G.V.**

**Discovery of the Khonguruu Deposit**

**32 Dubovsky P.B.**

**Triangle of Coagulation Models and Gel Transition in Disperse Systems**

*In contrast to living organisms, the population of particles in disperse systems is usually not multiplied but decreases owing to particle coagulation. Despite the vast diversity of such systems, their evolution can be described by only three interrelated models.*

**Lectures**

**38 Gomazkov O.A.**

**Endothelium: An "Endocrine Tree"**

*Vascular medicine owes its origin to the accumulation of knowledge about the endothelium, a powerful endocrine organ, which still astonsibes scientists by its complexity.*

**47 Lein A.Yu., Moskalev L.I., Bogdanov Yu.A., and Sagalevich A.M.**

**Oceanic Hydrothermal System and Life**

*In the world's oceans, there are almost 100 known active hydrothermal fields with unique biological communities, which depend entirely on geothermal rather than solar energy.*

**56 Mashchenko E.N.**

**Island Species of Dwarf Mammoth**

**Notes and Observations**

**58 Bulavintsev V.I.**

**The Viper**

**61 Shcherbatykh Yu.V. and Nozdrachev A.D.**

**Physiology and Psychology of Fear**

*There are no people who do not fear, but the subject and intensity of this emotion vary from person to person. As for social fears, they vary with society and paint its collective portrait.*

**68 Nikolsky I.D.**

**A Collection of Recorded Sounds of Nature**

**Commentary**

**69 "Many a True Word Is Spoken in Jest"**

**71 Levit G.S.**

**A Critical View of V.I. Vernadsky's Noosphere**

**Science News**

**77**

Nb Argo: A New Oceanographic Program (77). — Cosmic Ultraviolet Observatory (77). — The Mystery of the Black Cloud. **Surdin V.G. (78)**. — Atmosphere and Aurorae on Io (79). — The Ozone Hole Setting a Record (80). — BESSY Will Move to a New Apartment (80). — Coral Fish Larvae Remain in the Same Place. **Gilyarov A.M. (81)**. — Mutant Mice Live Longer (81). — Another Herpetofaunal Find in Europe. **Semenov D.V. (82)**. — White Whales in Ice Traps (83). — Radioactive Waste to Be Stored in New Mexico (83). — Diamond Deposits in Ukraine? **Laukhin S.A. (84)**. — A Pattern in the Arrangement of Volcanic Islands (85). — Kolima Continues to Erupt (86). — The Mexican Warning System (86). — Natural Disasters in 1998 (86). — Look a Fossil Horse in the Mouth (87).  
In Brief (25, 37, 46)

**Book Reviews**

**88 Ranyuk Yu.N.**

**Heutermans's Mystery**

**New Books**

**92**

**Encounters with the Forgotten**

**93 Bogdanov V.V.**

**"Inhospitable Land"  
(Brem's Travel through West Siberia)**

# Вспоминая "Катюшу"

## К 55-летию Победы

И.И.Слезингер

О легендарной "Катюше", ракетном оружии Великой Отечественной войны, написано множество статей и книг<sup>1</sup>. В историко-мемуарной литературе подробно рассказано о боевом применении как исходных моделей реактивных снарядов М-13 и М-31, так и их усовершенствованных образцов М-13 УК и М-31 УК. Однако совсем нет сведений о том, почему потребовалась их доработка, как и где она проводилась. Попытаюсь восполнить этот пробел — ведь именно появление на фронте моделей УК настолько изменило тактико-технические возможности гвардейских минометных частей, что реактивная и классическая артиллерии объединились под общим командованием.

### "Катюши" и "Андрюши"

Осколочно-фугасные реактивные снаряды (РС) М-13 калибра 132 мм были созданы

<sup>1</sup> Нестеренко А.И. Огонь ведут "Катюши". М., 1975; Гвардии "Катюша" / Сост. А.П.Бороданков. Л., 1978; Вышли на фронт "Катюши": воспоминания ветеранов гвардейских минометных частей / Сост. А.А.Шамаков. М., 1982.

© И.И.Слезингер



*Исаак Исаевич Слезингер, кандидат технических наук, в прошлом — заведующий лабораторией измерительных приборов Института механики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Основная область работ — экспериментальная аэродинамика. Автор более 35 изобретений. Один из авторов монографии "Аэромеханические измерения. Методы и приборы" (М., 1964)*

в Реактивном научно-исследовательском институте (РНИИ) еще до войны. Запуск этих пороховых оперенных ракет производился залпом с 16-зарядной пусковой установки БМ-13, смонтированной на автомобиле ЗИС-6. Эти боевые машины получили в народе ласковое название "Катюши". Решение о развертывании их серийного производства было принято буквально за несколько часов до начала войны, 21 июня 1941 г. Гвардейские минометные части (ГМЧ), вооруженные "Катюшами", начали формироваться в августе 1941 г.

Тяжелые фугасные снаряды М-31 калибра 310 мм, также

разработанные в РНИИ (солдаты их прозвали "Андрюшами"), поступили на вооружение ГМЧ позднее — в середине 1943 г. Они предназначались для разрушения особо прочных укреплений на рубежах противника и, таким образом, служили чисто наступательным средством. Стрельба производилась из устанавливаемых на земле пусковых станков, в которые закладывались четыре снаряда, помещенные в деревянные ящики. Непосредственно из этих ящиков ракеты и выпускались.

Главное преимущество реактивной артиллерии заключалось в ее способности вести внезапный и массированный

огонь, поражающий живую силу и технику на больших площадях<sup>2</sup>. Грузовики с боевыми установками появлялись неожиданно и за считанные минуты обрушивали на врага мощный огневой удар.

Однако при всем ошеломляющем эффекте, который производили "Катюши" на немецкие войска, был у них один существенный недостаток — очень плохая кучность стрельбы. Сразу оговорюсь — это не есть специфическое свойство именно "Катюш", все ракеты того времени имели такой недостаток. Боковое рассеивание ракет (по фронту) в десятки раз превышало величину, характерную для артиллерийских снарядов тех же калибров, выстреливаемых из нарезных орудий. Поэтому, чтобы подавить сопротивление врага на небольшом участке фронта, нужно было сосредоточивать большое число боевых машин в одном месте, что затрудняло их укрытие от самолетов врага. Залпом батарея обнаруживала себя и должна была мгновенно сниматься с позиций, чтобы не подвергнуться артиллерийскому удару или бомбардировке с воздуха. А главное, из-за большого рассеивания значительная часть снарядов расходовалась впустую.

Еще большее рассеивание обнаружилось при стрельбе "Андрюшами". Залп дивизиона М-31 (288 РС) давал плотность огня только 4—5 снарядов на 1 га, что было недостаточно для разрушения оборонительных сооружений<sup>3</sup>. Гарантировал успех лишь залп бригады — 1152 снаряда общим весом более 100 т (для сравнения — дивизионный залп "Катюш" из 192 РС весил около 8 т).

<sup>2</sup> Отсутствие отдачи при запусках ракет позволяет кардинально облегчить пусковые устройства, а значит, обеспечить высокие маневренность и мощность боевого залпа.

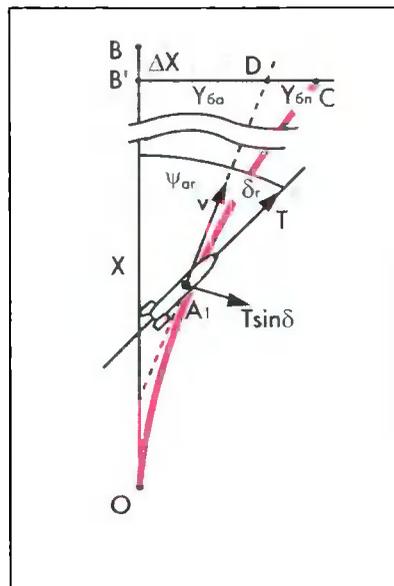
<sup>3</sup> Карсанов К. Д. Огонь ведут гвардейские минометы. М., 1982.

Напомню, что распределение точек падения снарядов вокруг предполагаемой цели подчиняется закону Гаусса. Чтобы охарактеризовать кучность оружия, в артиллерии вводят две величины: вероятные отклонения точек падения от цели в боковом направлении ( $Bb$ ) и по дальности ( $Bd$ ). В интервалы удвоенной ширины в среднем попадает половина выпущенных снарядов. (Подавляющее же большинство снарядов, 99,3%, попадает на участок, шириной в восемь раз больший.) Эллипс, построенный в полуосях  $Bb$  и  $Bd$ , называется эллипсом рассеивания. Вероятность попадания в этот эллипс равна 0.203. В отличие от неактивных снарядов при стрельбе ракетами на максимальную дистанцию (угол бросания  $\theta=45^\circ$ ) эллипс вытянут в боковом направлении, поэтому определяющий в рассеивании — разброс по фронту.

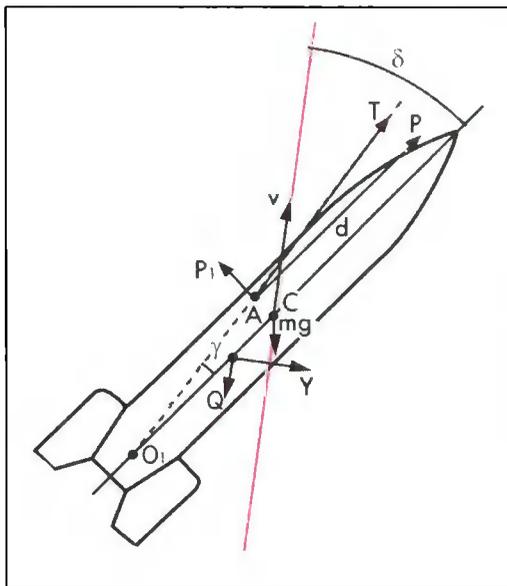
Поскольку разброс увеличивается с ростом дальности стрельбы  $X$ , показателями кучности оружия служат отношения  $Bb/X$  и  $Bd/X$ . Их называют рассеиванием соответственно боковым и по дальности. Так вот, если для обычных артиллерийских снарядов  $Bb/X$  варьирует в пределах 1/1500 — 1/3000, для РС М-13 этот показатель был 1/35, а для РС М-31 — 1/17 (при стрельбах на максимальные дальности 8.5 и 4.5 км соответственно). Для "Катюш" общее рассеивание по фронту ( $8Bb$ ) достигало почти 2 км.

## Улучшить кучность

В конце 1941 г. на совещании в ЦК ВКП(б) ученым предложили найти какой-то способ уменьшить боковое рассеивание реактивных снарядов, причем такой, который не потребовал бы изменения технологии их изготовления. Как



Расчетная ( $OB$ ) и реальная ( $OA, C$ ) траектории центра тяжести ракеты в проекции на горизонтальную плоскость.  $O$  — точка бросания,  $B$  — положение цели,  $C$  — точка падения снаряда.  $X = OB$  — расчетная дальность стрельбы,  $\Delta X = BB'$  — отклонение по дальности.  $Y_{6a} = B'D$  — боковое отклонение в конце полета, вызванное возмущениями на активном участке,  $Y_{6n} = DC$  — то же под действием возмущений на пассивном участке ( $Y_{6n} \ll Y_{6a}$ ). Штриховая  $A_1D$  — проекция касательной к траектории в конце активного участка;  $\psi_{ar}$ ,  $\delta_r$  — горизонтальные компоненты углового отклонения  $\psi_a$  и угла атаки  $\delta$  в этот момент времени.  $T$  — реактивная сила,  $T \sin \delta$  — ее нормальная к траектории составляющая. (Масштаб рисунка не выдержан; реально углы  $\psi$ ,  $\delta$  малы и  $\Delta X$ ,  $Y_{6a} \ll X$ .)



Силы, действующие на ракету при ее движении на активном участке. Реактивную силу  $T$  удобно разложить на силу тяги  $P$  и боковую силу  $P_1$ , направленные соответственно параллельно и перпендикулярно оси ракеты. Аэродинамические силы — лобового сопротивления  $Q$  и подъемная  $Y$  — направлены против скорости и поперек нее. На активном участке полета силы  $P_1$  и  $mg$  не играют заметной роли и в расчетах их не учитываются. Наличие даже малого угла атаки  $\delta$  порождает при большой силе тяги  $P$  заметную центростремительную составляющую  $P\sin\delta$ , которая искривляет траекторию. Но и в отсутствие начального возмущения ( $\delta_0=0$ ) угол атаки появляется из-за того, что действующая на сопло ракеты ( $O_1$ ) реактивная сила  $T$  наклонена под углом  $\gamma$  к оси ракеты. У силы тяги  $P$  возникает плечо  $d = CA$  (газодинамический эксцентриситет), и силовой момент  $M=P \cdot d$  разворачивает ракету. Стабилизация и демпфирование колебаний угла атаки  $\delta$  обеспечивается аэродинамическими моментами (на рис. не показаны).

вспоминал позднее академик С.А.Христианович, выступая на сессии Института истории АН СССР по случаю 45-летнего юбилея Победы, на его вопрос: “Что же, святой водой их окропить?” — в ЦК ответили: “Что-то вроде этого”.

Тогда Христианович, который в то время заведовал одной из лабораторий ЦАГИ, собрал небольшую группу специалистов и поставил им задачу тщательно проанализировать проблему<sup>4</sup>. Уже в 1941 г. в Казани, куда эвакуировалась часть института, были проведены исследования РС М-13 на масштабной модели в аэродинамической трубе Казанского авиационного института. Продувка макетов снаряда и измерение давления в сопле (в воздушной струе, имитирующей реактивную) показали, что распределение давления очень чувствительно к расположению пороховых шашек в камере, т.е. значительно и по-раз-

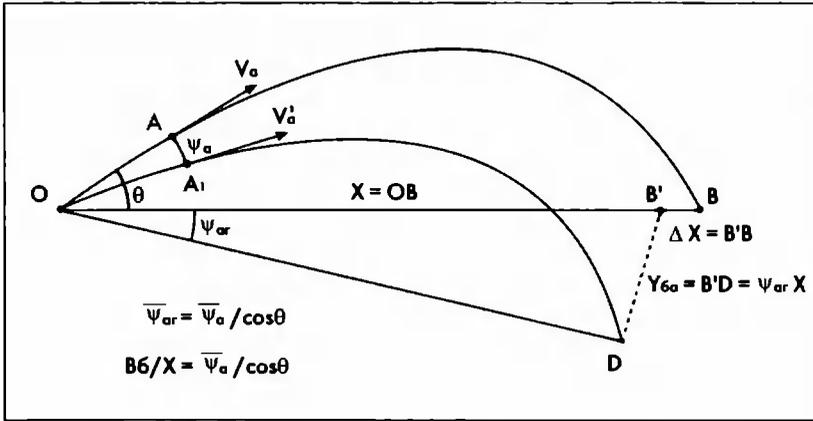
ному в каждом случае меняется по мере “сгорания” шашек.

С другой стороны, вся специфичность ракеты проявляется как раз на активном участке траектории (пока горит ракетное топливо), на пассивном же реактивный снаряд ничем не отличается от нерективного. Возникло подозрение, что главную роль в рассеивании ракет играет именно активный участок.

В случае симметричного распределения давления в пороховой камере и в отсутствие возмущающих факторов реактивная сила  $T$  направлена по оси ракеты, и траектория полета лежит в плоскости стрельбы (вертикальной плоскости в направлении оси станка). В реальности же, как это показано на первом рисунке, ось ракеты отклоняется от касательной к траектории на некоторый угол  $\delta$ , называемый углом атаки. Появляющаяся компонента реактивной силы  $T\sin\delta$ , поперечная к вектору скорости центра тяжести  $v$ , вызывает искривление траектории. Последняя выходит из плоскости стрельбы, что и приводит к отклонению ракеты от цели.

Анализ причин, порождающих угол атаки на активном участке, выявил целый ряд факторов. Помимо начальных возмущений, которые ракета получает при сходе с пускового станка (угол  $\delta_0$  и его производная по времени  $\dot{\delta}_0$ ), существенным казался несимметричный характер газового потока в камере. Асимметрия давления пороховых газов приводит к тому, что реактивная сила  $T$  перестает действовать вдоль оси ракеты. Как видно на рисунке, будучи перенесенной в экваториальную плоскость, проходящую через центр тяжести, сила  $T$  оказывается приложенной на некотором расстоянии  $d$  от оси ракеты. Этот эксцентриситет реактивной силы, названный газодинамическим, обуславливает появление вращательного момента  $M$ , который поворачивает корпус ракеты в осевой плоскости, вызывая рост угла атаки. Уход с расчетной траектории вызывает и поперечная к оси ракеты составляющая реактивной силы  $P_1$ . Таким образом, причины наблюдаемого рассеивания в общих чертах стали понятны.

<sup>4</sup> В связи с чрезвычайной секретностью “Катюш” эта работа выполнялась всего несколькими штатскими сотрудниками ЦАГИ. В 1942 г. Христианович был заместителем начальника ЦАГИ, но основная часть руководства институтом вообще не знала о проводившейся работе.



*Траектории ракеты в пространстве: расчетная (OAB) и реальная (OAD). Отклонения боковое и по дальности возникают из-за углового отклонения  $\psi_a$  в конце активного участка (A). В группе однотипных ракет ориентация плоскости угла  $\psi_a$  и его значение — случайные величины. Вероятное значение (усредненное по распределению Гаусса) проекции  $\psi_{ar}$  угла  $\psi_a$  на горизонтальную плоскость непосредственно определяет боковое рассеивание  $Bb = \bar{\psi}_{ar} X$ , причем  $\bar{\psi}_{ar} = \bar{\psi}_a / \cos \theta$ .*

## Найти главную причину

После возвращения сотрудников ЦАГИ из эвакуации в 1942 г. эксперименты продолжались. Главным теперь стало детальное исследование роли всех факторов, возмущающих движение ракеты на активном участке траектории и выявление тех, которые в проблеме рассеивания доминируют. На территории ЦАГИ был построен специальный блиндаж для стендовых исследований процесса горения твердотопливного заряда. Для подавления газодинамического эксцентриситета напращивалась на первый взгляд очевидная идея — изменить форму сопла. В базовой модели РС М-13 оно имело форму двух расположенных вершинами навстречу друг другу усеченных конусов с небольшим цилиндрическим участком между ними. Предполагалось, что замена конического сопла профилированным (соплом

Лавалья) сделает распределение давления на стенки более симметричным. Однако скоро стало ясно, что изготавливать такие сопла в промышленных масштабах — на сотнях заводов и в мастерских, не располагавших соответствующим оборудованием и квалифицированными кадрами, — не удастся.

По поручению Христиановича Ф.Р.Гантмахер и Л.М.Левин (первый — уже известный математик и механик, второй — молодой физик) в 1942—1943 гг. разработали теорию внешней баллистики неуправляемых пороховых оперенных ракет<sup>5</sup>, причем главное внимание сосредоточили на проблеме кучности реактивных снарядов.

Перечисленные выше факторы, “возмущающие” полет ракеты на активном участке, были подвергнуты детальному теоретическому анализу. Учи-

тывая, что все эти величины случайные, окончательные результаты расчетов выражались через средние (ожидаемые) значения. Было показано, что рассеивание ракет определяется вероятным угловым отклонением  $\bar{\psi}_a$  в конце активного участка. В частности, для бокового рассеивания эта связь такова:  $Bb/X = \bar{\psi}_a / \cos \theta$ . Здесь  $\psi_a$  — угол между векторами скоростей центра тяжести ракеты в конце активного участка при движении по расчетной траектории и по истинной;  $\theta$  — угол, образованный вектором скорости с горизонтом (угол бросания).

Дальнейший анализ выявил среди всех возмущающих факторов доминирующий вклад в  $\bar{\psi}_a$  несимметрии реактивной силы, точнее — бокового реактивного момента  $M = P \cdot d$ , порожденного газодинамическим эксцентриситетом. С другой стороны, оценки характерных величин показывали, что движение ракеты на активном участке стабилизируется действием оперения. Итак, задача о рассеивании ракет свелась к решению уравнений движения (для скорости центра тяжести  $v$  и двух угловых переменных  $\psi$  и  $\delta$ ) с участием реактивной силы тяги  $P$ , бокового реактивного момента  $M = P \cdot d$  и аэродинамических моментов — стабилизирующего  $M_1$  и демпфирующего  $M_2$ .

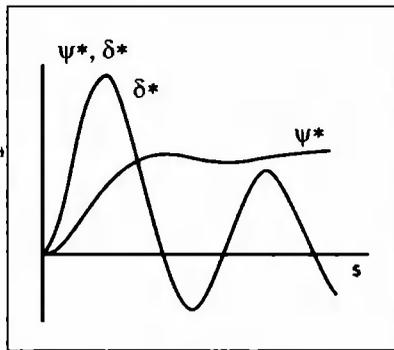
Предположение о постоянстве величины эксцентриситета ( $d = \text{const}$ ) во все время горения порохового заряда (которое оправдалось при последующем сравнении с результатами стендовых испытаний) значительно упростило задачу. Искомые переменные (выраженные в виде функций пройденного пути  $s$ )

$$\delta = d \cdot \delta^*(s), \quad \psi = d \cdot \psi^*(s)$$

продолжали оставаться случайными функциями, но толь-

<sup>5</sup> Гантмахер Ф. Р., Левин Л. М. Теория полета ракет. М., 1959.

ко — за счет случайного характера эксцентриситета  $d$ . (Его величина и расположение случайно меняются от ракеты к ракете.) Функции же  $\delta^*(s)$  и  $\psi^*(s)$  от  $d$  не зависят, имеют неслучайные значения и могут быть найдены из уравнений движения по заданной диаграмме реактивной силы тяги  $P(t)$  и известным аэродинамическим характеристикам ракеты. Отметим также, что



*Зависимости угла атаки  $\delta^*$  и углового отклонения  $\psi^*$ , рассчитанные для РС М-13 как функции пути  $s$  на активном участке полета. Рост угла отклонения  $\psi^*$  происходит только на критическом участке, определяемом первой полуволной изменения  $\delta^*$ .*

одно из уравнений движения дает простую связь этих переменных  $d\psi^*/ds = (a/v^2) \cdot \delta^*(s)$ . Рассчитанные для РС М-13 зависимости углового отклонения  $\psi^*(s)$  и угла атаки  $\delta^*(s)$ , отнесенные к единичному эксцентриситету, показаны на рисунке. (Для РС М-31 зависимости получились очень близкими.) Наконец, вероятное угловое отклонение  $\bar{\psi}_a$  в конце активного участка, которое, как сказано выше, определяет рассеивание снарядов, непосредственно связано с вероятным значением эксцентриситета  $\bar{d}$  простым соотношением  $\bar{\psi}_a = \bar{d} \cdot \psi^*(s_a)$ .

Сходный характер зависимостей  $\delta^*(s)$  и  $\psi^*(s)$ , полученных для ракет различного калибра, массы, геометрических и аэродинамических характеристик, позволил авторам утверждать, что для углового рассеивания ракет критическим оказывается очень небольшой, начальный отрезок траектории, составляющий 35–55% активного участка. Этот принципиально важный результат хорошо виден на указанном рисунке: нарастание угла  $\psi^*$  на начальной части активного участка происходит, пока угол  $\delta^*$  не обратится впервые в нуль. Затем угол  $\psi^*$  остается практически постоянным. Факт существования критического участка нетрудно объяснить. Сошедшая с направляющей ракета поворачивается моментом  $M = P \cdot d$ , и появляется угол атаки  $\delta$  того же знака, что и  $M$ . Угол  $\delta$  дает центростремительную слагающую  $P \cdot \delta$  ( $\sin \delta \approx \delta$ ) силы тяги, вызывающую искривление траектории. Из-за действия оперения возникает квазиупругий аэродинамический момент  $M_1$ , определяющий колебательный характер изменения угла  $\delta$ . Попеременное изменение знака  $\delta$  вызывает такое же изменение силы  $P \cdot \delta$ , что приводит к попеременному искривлению траектории то в одну сторону, то в другую. По-

скольку стабилизирующий момент  $M_1$ , стремящийся уменьшить угол атаки, пропорционален квадрату скорости, площадь первой полуволны  $\delta(s)$  превосходит площади всех остальных. Упомянутая выше связь  $d\psi^*(s)/ds$  с  $\delta^*(s)$  в этих условиях приводит к тому, что результирующее изменение угла  $\psi$  ограничивается первой полуволной  $\delta(s)$ .

Главный вывод теоретических исследований приобрел конкретное содержание: бороться с рассеиванием ракет нужно на первых десятках метров их полета.

## Что подсказала военная мысль

Уже в прошлом веке, когда в России создавались первые ракеты, стало понятно, что придание ракетам вращательного движения вокруг продольной оси позволяет улучшить их кучность. В книге К.И.Константинова<sup>6</sup> написано: «С самого начала введения ракет были произведены изыскания для увеличения верности полета ракет через сообщение им вращательного движения около их продольной оси. Изыскания эти производились над ракетами с хвостами и над ракетами без хвостов. Вращательное движение домогалось производить следующими способами:

1. Сопротивлением воздуха через расположение наклонных перьев на внешней поверхности ракетного снаряда, гильзы и хвоста.

2. Помощью спускных труб, на внутренней поверхности которых расположены винтовые нарезки, в кои проникают выступы, имеющиеся на внешней поверхности ракет.

3. Действием газов, приводящих ракету в движение и вытекающих по винтовым

<sup>6</sup> Константинов К.И. О боевых ракетах. СПб., 1856.

каналам, которые располагают в ракетном поддоне, или ударом газов, истекающих из ракеты, о косые плоскости, прикрепляемые к ракетной гильзе».

В начале 1943 г. военные инженеры ГМЧ пытались повысить кучность РС М-13, придавая им вращение с помощью косо поставленного оперения. Отстрелы на полигоне показали, что это действительно уменьшает боковое рассеивание в 1.3—1.5 раза. Однако ракета, снабженная таким оперением, на первых метрах полета вращается еще медленно, так как создаваемый косым оперением осевой момент  $M^*$  пропорционален квадрату скорости и в начале полета мал. К тому же, достижение этого, в общем незначительного, эффекта требовало изменения технологии изготовления ракет.

Оценки показали, что для существенного снижения рассеивания ракетам требовалось придавать в начале их полета большие вращающие моменты  $M^*$ , чем те, которые могло дать косое оперение. В расчетах рассеивания вращающихся ракет Гантмахер и Левин учитывали только доминирующий фактор — боковой момент  $M$ , вызванный эксцентриситетом силы тяги. При полете не вращающейся оперенной ракеты плоскость момента  $M$  остается неизменной в пространстве; в этой плоскости момент монотонно отклоняет ось ракеты от направления стрельбы. Если же заставить ракету вращаться вокруг своей оси симметрии, то вместе с корпусом ракеты будет вращаться и плоскость отклоняющей пары. При каждом повороте корпуса на  $180^\circ$  знак момента меняется на противоположный, поэтому на одних участках полета боковой момент стремится отклонить ракету в одну сторону, а на других — в противоположную. В результате угловое

отклонение  $\psi_a$  в конце активного участка траектории уменьшается. Авторы установили, что для получения эффективного результата ракете достаточно сделать на критическом участке всего несколько оборотов, и для этого требуется совсем небольшая угловая скорость — в десятки раз меньше той, что необходима артиллерийскому снаряду для стабилизации полета. Конечно, заставить ракету вращаться может только созданный каким-либо способом осевой момент сил  $M^*$ .

В июне 1943 г. Левин поделился со мной этими выводами, и тогда мы предложили создать желательный момент  $M^*$  за счет выпуска небольшой части газа из пороховой камеры в тангенциальном направлении (в поперечной плоскости вблизи центра тяжести ракеты). Таким образом, реактивные снаряды М-13 предлагалось превратить в реактивно-вращающиеся оперенные ракеты, причем без изменения конструкции ракет, так и находящихся на вооружении пусковых устройств.

Христианович нашу идею оценил и дал указание Гантмахеру и Левину произвести необходимые расчеты, на что им потребовалось около недели. Результаты показали, что при запуске таких, вращающихся реактивным способом, ракет со стандартных пусковых установок (а их число на фронтах достигало десятков тысяч) боковое рассеивание должно уменьшиться в 2.5—3.2 раза! Это побудило Христиановича немедленно написать письмо Верховному Главнокомандующему, и через пару дней был получен карт-бланш на срочное проведение необходимых испытаний.

## Реализовать идею

Для экспериментального подтверждения расчетов в на-

чале июля 1943 г. в мастерские лаборатории №2 ЦАГИ были завезены три партии РС М-13 (по 16 штук в каждой). Снаряды первой партии мы переделали в реактивно-вращающиеся в течение двух недель: в пороховой камере просверливались тангенциальные каналы на разработанном мною технологическом приспособлении.

23 июля 1943 г. мы с Левиным доставили эту партию на Софринский полигон. Вечером в мастерских полигона на ракеты установили боевые головки, а утром 24 июля их завезли на пусковую позицию. Одну пусковую установку зарядили 16 штатными снарядами, а другую — 16 реактивно-вращающимися.

Обработка координат падения снарядов показала: по сравнению со штатными боковое рассеивание вращающихся меньше в 2.5 раза. Неожиданным оказалось резкое снижение рассеивания по дальности. При стрельбе на максимальную дистанцию ( $\theta = 45^\circ$ ) угловой разброс мало влияет на разброс по дальности, поэтому повышения кучности по дальности при такой стрельбе заранее нельзя было ожидать. Потом стало ясно, что интенсивное вращение реактивных снарядов на активном участке полета способствует улучшению сгоранию пороховых шашек (неосторевшие частицы пороха прижимаются к стенкам камеры сгорания центробежными силами и выбрасываются в меньшем количестве).

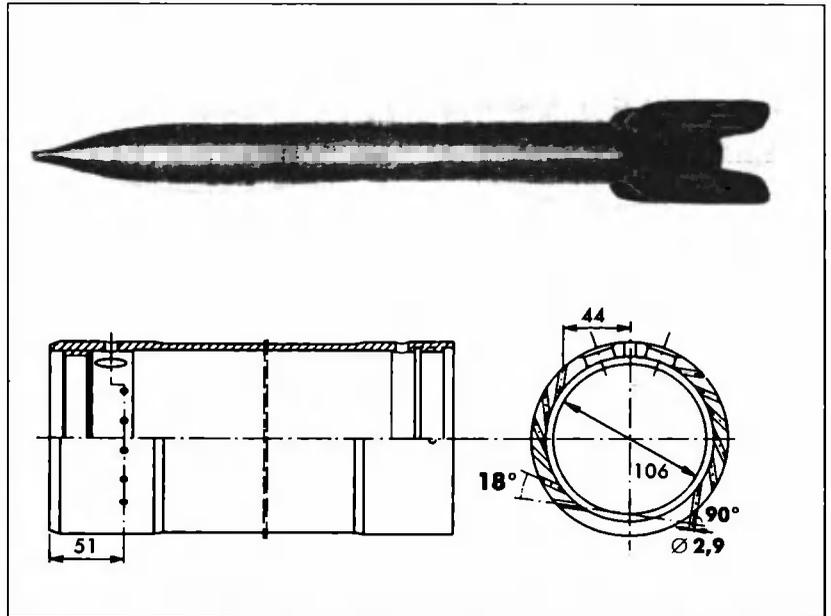
Успех первого залпа был весьма убедительным, поэтому уже 27 июля в Главное управление вооружениями гвардейских минометных частей был передан Проект увеличения кучности штатных реактивных снарядов М-13 и М-31 путем придания им полярного вращения за счет части реактивной силы. В авторах проекта числились С.А.Христиано-

вич, Ф.Р.Гантмахер, Л.М.Левин и И.И.Слезингер; в дальнейшем соавторами этой работы стали сотрудники Управления вооружениями ГМЧ инженер-подполковник Я.Б.Шор, инженер-майор Л.Я.Пенн и инженер-полковник А.И.Семенов. Обобщенные результаты этой работы были изданы в "Трудах ЦАГИ" и рассекречены только в 1965 г.

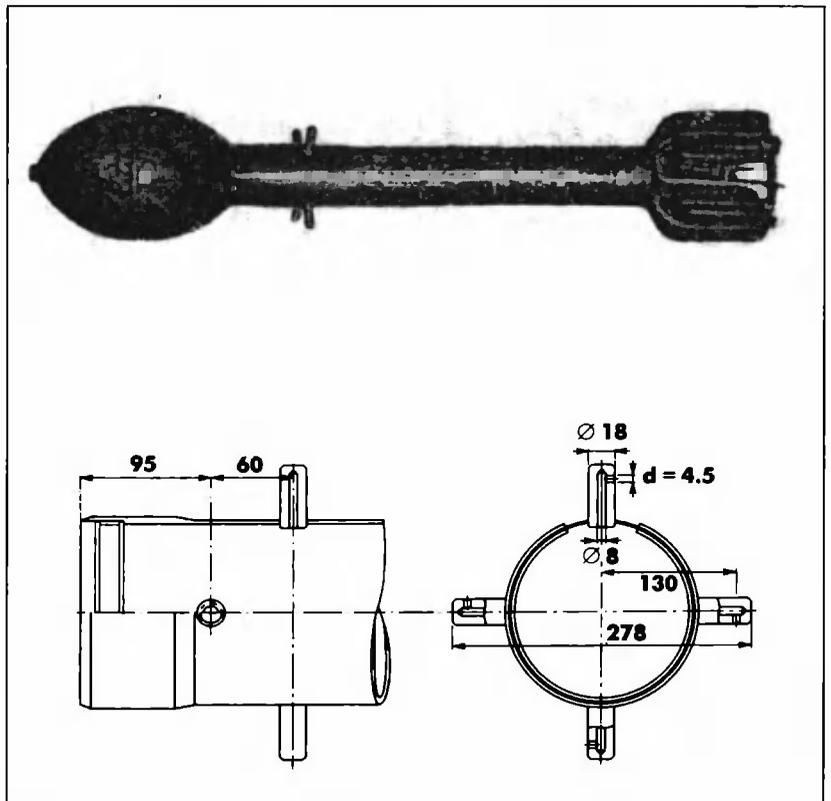
Сразу после испытаний "Катюш" в ЦАГИ были завезены три партии по 18 корпусов "Андрюш". Для придания вращения этим снарядам мы предложили устанавливать на пороховых камерах специальные насадки, скрытые в аэродинамической тени боевой головки (ее диаметр более чем вдвое превышал диаметр корпуса пороховой камеры).

Первую партию переделанных снарядов М-31 мы с Левиным доставили на Софринский полигон 22 августа, и утром 24 августа произвели их отстрел, опять параллельно со штатными ракетами. Боковое рассеивание реактивно-вращающихся снарядов оказалось в три с лишним раза меньше, чем у штатных, рассеивание по дальности — примерно вдвое. Во второй половине 1943 г. была проведена большая экспериментальная работа по поиску оптимальных вариантов конструкции реактивно-вращающихся снарядов обоих типов.

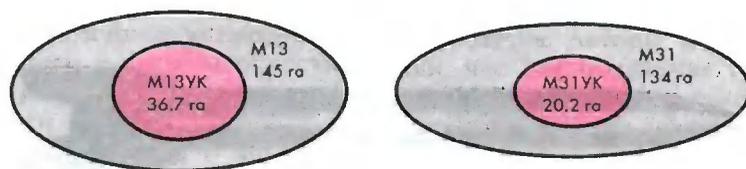
Всего на артполигоне в Софрино было отстреляно более 750 опытных ракет 14 различных модификаций, отличавшихся диаметрами тангенциальных отверстий и типами насадок. В итоге в корпусах пороховых зарядов М-13 стали просверливать 12 тангенциальных отверстий диаметром 2.9 мм. На корпусах снарядов М-31 просверливались четыре резьбовые отверстия М12, в которые ввертывались шурупы с направленным тангенциально отверстием диаметром 4.5 мм.



*Реактивно-вращающаяся ракета М-13 УК и сечение ее пороховой камеры.*



*Реактивно-вращающаяся ракета М-31 УК и сечение ее пороховой камеры (с насадками).*



Эллипсы рассеивания ракет “Катюши” (слева) и “Андрюши” для исходных конструкций и усовершенствованных (даны цветом). Здесь показаны полные эллипсы рассеивания — с полуосями 4 Вб и 4 Вд. Вероятность попадания ракеты в область, ограниченную эллипсом, — 0.974.



Фото обложки “Трудов ЦАГИ”, рассекреченных в 1965 г.

Разработанные образцы реактивно-вращающихся снарядов государственная комиссия рекомендовала для серийного производства под индексами М-13 УК и М-31 УК (УК — улучшенной кучности). Приемные испытания показали следующие окончательные результаты: при стрельбе на максимальную дистанцию площадь эллипса рассеивания у М-13 УК меньше, чем у М-13, в 4 раза, а у М-31 УК меньше, чем у М-31, в 6.5 раз.

В марте 1944 г. были проведены государственные испытания этих снарядов, изготовленных серийно на заводах Наркомата боеприпасов. Государственная комиссия единодушно решила без промедления принять на вооружение РС серии УК. Для новых “Катюш” не потребовалось изменять конструкцию пусковой установки БМ-13. Чтобы применять новые “Андрюши”, были разработаны 12-зарядные пусковые установки БМ-31-12, обладающие большой подвижностью и маневренностью.

## Во славу русского оружия

Каковы же результаты применения на фронтах Великой Отечественной войны разработанных в ЦАГИ реактивно-вращающихся снарядов? Командующий гвардейскими минометными частями П.А.Дегтярев и заместитель командующего артиллерией П.П.Ионов в своей книге написали: «Принятие на вооружение новых образцов М-13 УК и М-31 УК было равноценно примерно тройному увеличению числа гвардейских минометных частей».

Применение усовершенствованных ракет повысило боевой потенциал ГМЧ, снизило расход боеприпасов, позволи-

Дегтярев П. А., Ионов П. П. “Катюши” на поле боя. М., 1991.

*Народный Комиссариат Вооружений Союза ССР***СПРАВКА***(взамен авторского свидетельства)*

*Дана настоящая справка гр. гр. ХРИСТИАНОВИЧ С. А., ШОР Я. Б., ГАНТМАХЕР Ф. Р., ЛЕВИНУ Л. М., ПЕНН Л. Я., СЕМЕНОВУ А. И. и СЛЕЗИНГЕР И. И. в том, что Народным Комиссариатом Вооружений Союза ССР 30.X.1944 года признано за Вами авторское право, подлежащее опубликованию.*

*Документация по авторскому свидетельству хранится в Бюро по делам изобретательства НКВ СССР дело № 3484с.*

*Авторское свидетельство будет выдано по получении единой формы, утвержденной СНК СССР.*



*Народный Комиссар  
Вооружений Союза ССР*

*(Ванников)*

*Справка на изобретение, выданная его авторам наркомом вооружений В.Л.Ванниковым.*

ло существенно уменьшить наши потери в живой силе. И это тогда, когда еще предстояло взятие многих сотен новых укрепленных пунктов при освобождении Прибалтики, Белоруссии, европейских стран. Особую роль сыграли ракеты М-31 УК в боях на территории Восточной Пруссии и при взятии Берлина.

Фактически в реактивной артиллерии произошли каче-

ственные и организационные изменения, которые сближали тактико-технические параметры гвардейских минометных частей с показателями, характерными для ствольной артиллерии, ее классических систем. А как раз незадолго до этого, в середине 1943 г., на военном совете ГМЧ мне пришлось слушать докладчика с фронта — представителя классической артиллерии, ко-

торый требовал снять с вооружения "Катюши", поскольку из-за большого рассеивания реактивных снарядов не хватало металла для снарядов ствольной артиллерии. Теперь же гвардейские минометы в глазах артиллеристов представлялись своеобразными образцами многоствольной артиллерии, обладающими достаточной точностью стрельбы и способностью к маневрированию. После показательных стрельб новыми ракетами (вторая половина марта 1944 г.), на которых присутствовало командование Советской Армии во главе с Главным маршалом артиллерии Н.Н.Вороновым, последний внес предложение в Ставку Верховного Главнокомандования объединить органы управления и снабжения ГМЧ со структурой, сложившейся в ствольной артиллерии (соответствующее решение было принято в сентябре 1944 г.).

Отмечу, что затраты на столь существенное улучшение боевых качеств ракет оказались практически ничтожными. Так что, как сказано выше, повышение кучности РС было достигнуто почти "святым духом". За эту работу Христианович был награжден орденом Ленина, а Гантмахер, Левин и я — орденами Красной Звезды. Нарком вооружений В.Л.Ванников выдал каждому из нас, а также Пенну, Семенову и Шору напечатанную золотом справку о нашем авторстве на эту закрытую работу. Гантмахер и Левин за работу по теории полета оперенных ракет получили Сталинскую премию.

Слава российского оружия ковалась не только на полях сражений, но и в кабинетах и лабораториях закрытых учреждений, где наши ученые, военные и штатские, ее умножали своим самоотверженным трудом. ы

# Эти удивительные диатомеи



П.А.Стунжас, Ф.В.Сапожников

**И**звестно, что для жизнедеятельности фотосинтезирующим организмам необходимы свет и биогенные соли (биогены). Однако в океане они, как правило, разнесены по глубине (освещены верхние слои, а биогены концентрируются в нижних), поэтому большинство водорослей вынуждены жить при дефиците или одного, или другого фактора. На суше эта проблема решается просто: корни растений — в земле, листья — над ее поверхностью. А в океане надо либо уметь активно перемещаться между верхними и нижними слоями воды, как это делают некоторые виды жгутиковых перидиней, либо регулировать свою плавучесть с помощью газовых вакуолей, подобно некоторым видам синезеленых водорослей (в настоящее время их относят к цианобактериям), либо дожидаться естественных вертикальных движений воды (заметим, очень медленных), что в той или иной степени делают все одноклеточные. Есть, правда, в океане многоклеточная водоросль *Nereocystis*, избравшая, как растения на суше, способ механического соединения поверх-



*Павел Антонович Стунжас, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогидрохимии Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН. Область научных интересов — физико-химические свойства морской воды и, в частности, влияние на них фитопланктона.*

*Филипп Вячеславович Сапожников, ведущий инженер лаборатории экологии прибрежных донных сообществ того же института. Занимается изучением экологии микрофитобентоса шельфовой зоны Мирового океана.*

ности воды и грунта. Внешне она напоминает очень вытянутую морковь: длинный (до 100 м и более), утолщающийся кверху и на две трети голый “ствол” в верхней части покрыт “ветвями” и “листьями”. Держаться вертикально этой гигантской “моркови” помогают расположенные в основании “ветвей” и на “листьях” огромные (до 20 см в диаметре) выросты — пузыри с газом. Для океана это, конечно, экзотичный и бесперспективный способ (на 4 км ствол не протянешь), и мы рассказываем о нем лишь для того, чтобы отметить способность многоклеточных водорослей создавать положительную плавучесть с помощью газовых пузырей. Интересно, а может ли это делать одноклеточный фитопланктон — главный производитель органики в океане? До недавнего времени считалось, что не может, исключение составляли лишь снабженные газовой вакуолями клетки синезеленых водорослей. Теперь список таких организмов расширился, и в него по праву могут войти некоторые виды диатомовых водорослей, образующих необычные скопления в океане.

## Диатомеи в океане

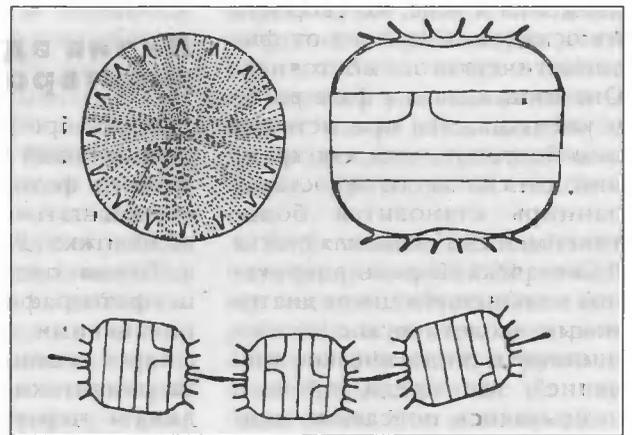
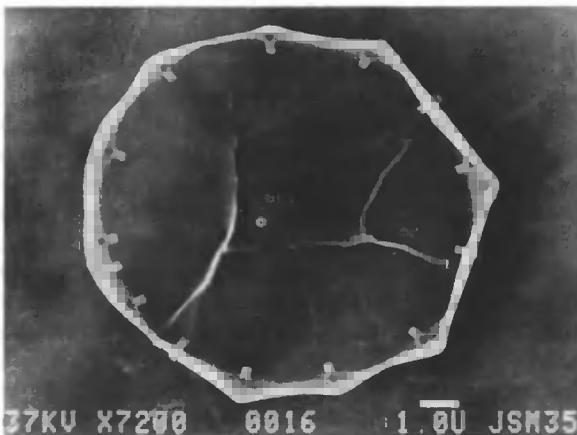
Помимо синезеленых водорослей в состав одноклеточного фитопланктона в основном входят перидинеи, кокколитофориды и диатомеи. Изменения в окружающей среде могут вызвать бурный рост численности любых из них, тем не менее преобладают в океане и соответственно создают большую часть первичного органического вещества диатомеи.

Диатомовые водоросли — сравнительно молодая и резко отличающаяся от прочих группа одноклеточных организмов. Клетки диатомей, размером от менее 10 до более 500 мкм в зависимости от вида, заключены в кремневый панцирь нередко весьма причудливой формы. Панцирь центрической диатомеи напоминает чашку Петри: одна половинка (крышка) чуть больше другой (основания). При делении каждая из них становится крышкой, а размер нового основания уменьшается (но не больше чем на 40% от первоначальной). Пеннатные диатомеи схожего строения, но не круглые сверху, а вытянутые в форме пирожка,

вдоль которого проходит шов.

После деления клетки диатомей могут оставаться соединенными между собой в цепочки различной длины. Реже формируются более сложные образования — агрегации из множества цепочек (маты, шарики или комочки, объединенные выделяемой ими же слизью). Если такие агрегации содержат более тысячи клеток, они приобретают макроскопические размеры (более 1 мм). У таких макроколоний, как правило, вырабатываются новые, не свойственные отдельным клеткам или простым колониям, приспособительные реакции. Нас заинтересовала, в частности, удивительная плавучесть макроколоний диатомей.

У диатомовых водорослей нет видимых приспособлений для активного передвижения в воде, кремневый панцирь делает их клетки тяжелыми, а для роста им необходим в довольно больших концентрациях кремний — все это уменьшает конкурентоспособность диатомей среди других групп фитопланктона. Возможно, диатомовые сначала были бентосными организмами, в этом случае им ни к чему было всплывать, а уж



Диатомея *Thalassiosira* sp.: микрофотография (масштаб 1 мкм) и прорисовки отдельной клетки (вид сверху, со стороны створки, и сбоку, со стороны пояса), а также фрагмента колонии.

кремния в иловых водах вдоволь. У живущих в прибрежной зоне современных диатомей нет недостатка ни в освещении, ни в питании, ни в кремнии. А вот как удаётся обитателям открытого океана не только выживать, но и создавать большую часть вновь синтезируемого органического вещества? Считалось, что это происходит благодаря тому, что они быстро, опережая другие группы водорослей, размножаются весной, когда в верхнем слое воды после зимнего перемешивания много биогенов, а потом пассивно пережидают неблагоприятные времена либо до будущей весны, либо до случайного заброса биогенов в верхний слой. (В этот период диатомей сами становятся пищей для зоопланктона и частично бактерий.) После истощения основного запаса биогенов в поверхностном слое начинают преобладать другие виды фитопланктона (перидиней, кокколитофориды и др.), которые потребляют биогены, образующиеся за счет разложения ранее созданного органического вещества, в том числе и диатомеями.

Однако не все так просто. Диатомей, как мы знаем, не имеют видимых приспособлений для активного передвижения в воде, но скорость их осаднения зависит от физиологического состояния. Она минимальна в фазе роста и увеличивается при истощении биогенов, включая кремний, хотя из-за его недостатка панцирь становится более тонким. В 1985 г. вышла статья В.Сметачека "О роли погружения в жизненном цикле диатомовых: экологическое, эволюционное и геологическое значение", где среди прочего описывалось поведение диатомей тропических районов. На апвеллинге у берега или в центре циклонического круговорота на поверхность вы-

ходит холодная и сравнительно богатая биогенами вода, и сначала все идет по описанной схеме: в воде сразу (в тропиках много солнца и поэтому не надо ждать весны) развиваются диатомей. Вопрос, откуда они там берутся, биологов интересует, как правило, мало — мол, в воде в каком-то минимальном количестве всегда есть характерные для данного района виды. Однако после истощения запаса биогенов (за это время вода прогревается и уносится из области апвеллинга) диатомей отказываются служить пищей другим членам сообщества и вообще ведут себя необычно.

Происходит это так. Клетки диатомей сцепляются между собой при помощи разного рода выростов или выпускают из себя клейкую слизь, а потом вдруг начинают тонуть. Причем скорость опускания может быть очень большой — до 100 м/сут. Но если случается массовое погружение диатомей, то логично ожидать и такого же массового всплытия. К сожалению, для одиночных клеток и простых колоний диатомей это явление пока не обнаружено, а вот для макроколоний наблюдалось и по крайней мере однажды было очень красиво.

## Линия вдоль экватора

В октябре 1994 г. престижный научный журнал "Nature" вышел с фотографией и заголовком статьи "A line in the sea" на обложке<sup>1</sup>. Речь шла о линии в Тихом океане, увиденной в сфотографированной американскими космонавтами с борта станции. Сбылась мечта романтиков, искавших видимую черту, разделяющую

Северное и Южное полушария, правда, она оказалась на несколько градусов севернее экватора. К счастью, явление удалось сразу же исследовать с самолета и с научного судна. Эта линия (более 200 км длиной и около 1 км шириной) образовалась во время цветения диатомей *Rhizosolenia*, когда наиболее благоприятные условия для ее размножения локализовались вдоль узкого фронта так называемой волны тропической неустойчивости. Суть явления в том, что довольно часто воды теплого тропического течения, расположенного на несколько градусов севернее экватора, непосредственно соприкасаются с более холодными водами, движущимися в противоположном направлении — вдоль экватора. В результате возникает резкий фронт, когда холодные воды подтекают под теплые и вместе опускаются вниз. Причем скорость опускания холодных вод в данном случае достигала 1 см/с, а теплых была гораздо ниже. Таким движением вод сразу же воспользовались диатомей: на фронте образовалось скопление водорослей очень высокой плотности, при этом концентрация хлорофилла увеличилась до 30 мг/м<sup>3</sup>, т.е. более чем в 100 раз. (Поэтому так хорошо была видна зона цветения с борта космического корабля.) Клубки или маты, в которые соединились диатомей, не только удерживались в верхних слоях теплой воды, не давая им опускаться, но и увлекаемые холодным течением на сорокаметровую глубину вновь поднимались к поверхности. За время этого воляжа они, видимо, набирались биогенов, так как, оказавшись на свету, начинали интенсивно размножаться.

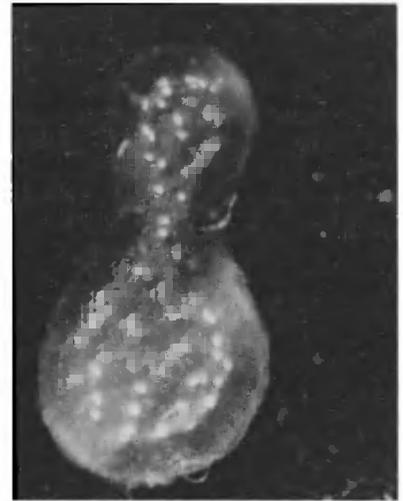
Как оказалось, миграции *Rhizosolenia* на глубине 50 м и более — широко распространенное явление в тропических районах океана. В благо-

<sup>1</sup> Yoder J. A., Ackleson S. G., Barber R. A. et al. // Nature. 1994. V.371. №6499. P.689—692.

приятных условиях нитчатые колонии этой центрической диатомеи образуют хорошо заметные в воде маты размером до 30 см. Выяснилось, что опускающиеся маты содержат меньше нитратов по сравнению с поднимающимися, а поток этих соединений, выносимых водорослями в тропических районах Тихого океана, сравним с подъемом нитратов, который происходит за счет турбулентной диффузии. Так, макроколонии диатомеи *Rhizosolenia* не только сами решают проблемы поиска биогенов и света в условиях открытого океана, но и обеспечивают другие виды планктона биогенами.

Попробуем оценить скорость миграций водорослей, чего не было сделано в упомянутой работе. Время жизни волны неустойчивости примерно 20 дней, за это время концентрация водорослей увеличилась по сравнению с нижележащим “пустым” слоем в тысячу раз, т.е. каждая клетка должна была претерпеть как минимум 10 делений, что не очень много, так как некоторые виды диатомеи делятся даже 4–6 раз в сутки. Трудно предположить, что каждая клетка может запасаться биогенами больше, чем на одно деление. Если считать, что на миграцию у них уходило только половина времени, то скорость должна быть не менее 100 м/сут.

Механизм регулирования плавучести пока не изучен. Авторы статьи предположили, что это — направленный ионный транспорт. На наш взгляд, такой механизм (замена в клетке “тяжелых” ионов “легкими”) неэффективен и, скорее всего, регуляция плавучести осуществляется при помощи газовых пузырьков. Но об этом чуть позже, а пока расскажем о собственных впечатлениях от встреч с необычными колониями диатомовых водорослей.



Макроколония диатомеи *Thalassiosira parthenia* (слева) и ее немногочисленная, но очень красивая спутница, так и оставшаяся неопознанной — НПО.

## “Слона-то я и не приметил”

В истории, которая произошла в 1989 г. на судне “Профессор Водяницкий” Института биологии южных морей (Севастополь), участвовал один из авторов (П.А.Стунжас). Рейс был посвящен изучению продуктивности апвеллингов тропической Атлантики. На станции возле мыса Кап-Блан привычный ход работ был нарушен из-за того, что от водной поверхности до глубины 20–30 м появилось множество каких-то бурых скользких чешуек размером 1–2 см. Трудно было отобрать пробу воды в 100 мл, чтобы в ней не попался НПО (неопознанный плавающий объект, названный по аналогии с НЛО), а уж когда опустили сеть для ловли зоопланктона, то ее ячейки тут же забились. Вскоре мы определили, что НПО — это необычные, очень большие колонии водорослей (как позже выяснилось — диатомеи *Thalassiosira parthenia*), но к этому времени ведра, полные НПО, были выплеснуты за борт и не осталось ни

одного живого образца, только зафиксированная проба. По рассказам очевидцев, в одном из предыдущих рейсов института в этот район они уже встречались с такими объектами и их тоже “не заметили”, осталась только короткая запись в бортовом журнале. Как тут не вспомнить “героя” баснописца в кунсткамере.

Не терпелось исправить допущенную оплошность, однако, вернувшись через два месяца на то же место, мы сразу ничего не нашли. Только спустя сутки произошла долгожданная встреча. На этот раз их было совсем мало, за полчаса удалось наловить всего около ста колоний, но этого было достаточно, чтобы провести исследования.

Встреченные в обоих случаях макроколонии *Th. parthenia* имели вид студенистых буроватых ленточек, которые легко изгибались и скручивались. Самые крупные из них были около 5 см в длину и 2–4 мм в ширину. Под микроскопом можно было разглядеть, что каждая колония состояла из множества (примерно

300 тыс. в колонии длиной 2 см) отдельных клеток размером 8–15 мкм. В отличие от большинства колоний других видов диатомей (в частности, матов *Rhizosolenia*, состоящих из отдельных цепочек или их клубка) наши подопечные имели более сложную организацию. Они были заключены в хорошо оформленную, плотную оболочку, при повреждении которой (в результате нагревания или старения) из нее выделялось нитевидное содержимое, которое вскоре превращалось в бесформенное облако и пропадало вовсе.

Мы обнаружили, что первичная продукция четырех макроколоний длиной 2 см сопоставима с продукцией, производимой микропланктоном, содержащимся в 1 л окружающей колонии воды (2.4 и 2.6 мг С/м<sup>3</sup>·ч соответственно). Несомненно, макроколоники находились в хорошем физиологическом состоянии. Отметим, что интенсивное развитие на апвеллинге разного рода колоний фитопланктона приводит к значительной неоднородности распределения (сантиметрового масштаба) растворенного кислорода<sup>2</sup>. А как раз поиск такого рода неоднородностей с целью использования их для биологической экспресс-диагностики вод и входил в задачи нашего рейса.

Мы предположили, что подниматься к поверхности и удерживаться там макроколоники помогают газовые пузырьки. Наши догадки подтвердились во время дальнейших экспериментов<sup>3</sup>. Плавуемость макроколоний проверялась следующим образом. В сосуд для регистрации акустического рассеяния, которое

измерялось узконаправленным эхолотом на частоте 6 МГц, помещали 30–40 колоний. Если сосуд более двух часов находился в темноте, то все колонии опускались на дно. Но примерно через полчаса после включения света, на колониях появлялись микроскопические (40–50 мкм) пузырьки газа, которые приподнимали их, а через час колонии довольно равномерно распределялись по объему сосуда, и в дальнейшем, если на сосуд никак не воздействовали, ничего почти не менялось. При этом пузырьки росли, диаметр самого крупного составлял 0.3 мм. Уже одного этого наблюдения было бы достаточно, чтобы говорить о регулируемой плавуемости колоний. В самом деле, пузырек в столбе воды может находиться только в неустойчивом равновесии: при случайном уменьшении глубины гидростатическое давление падает и диаметр пузырька растет, что вызывает увеличение “подъемной” силы и дальнейшее всплывание “пузырька” вплоть до поверхности воды. Если пузырек случайно опустится, то будет продолжать опускаться до дна.

Мы провели дополнительные опыты, которые доказали, что колонии удерживались в столбе воды благодаря регулируемым пузырькам, и оценили некоторые особенности такой регуляции. В сосуде можно было изменять давление воздуха, чем мы и воспользовались. После увеличения давления на 0.2 атм. (что соответствует заглублению на 2 м) колонии начали медленно тонуть, но через 10 мин погружение прекратилось! Уменьшение давления на поведение колоний не отразилось, они не всплыли. Этого не могло произойти, если пузырьки были бы пассивными. Подняли давление до 2 атм., и колонии вновь стали погружаться, причем довольно быс-

тро (до 1–2 см/с). Через минуту давление сняли, и две из 40 колоний стали быстро, со скоростью примерно 5 см/с, подниматься, остальные оставались на месте в течение 20 мин, но на них заметно выросли пузырьки. Изменение давления отразилось и на их акустических свойствах. Итак, давление влияло на плавуемость колоний: изменением диаметра пузырьков они, видимо, старались стабилизировать свое положение в столбе воды. Напомним, что пузырьки появлялись на колониях только на свету, а это означает, что наполняющий пузырьки газ — кислород, образующийся при фотосинтезе.

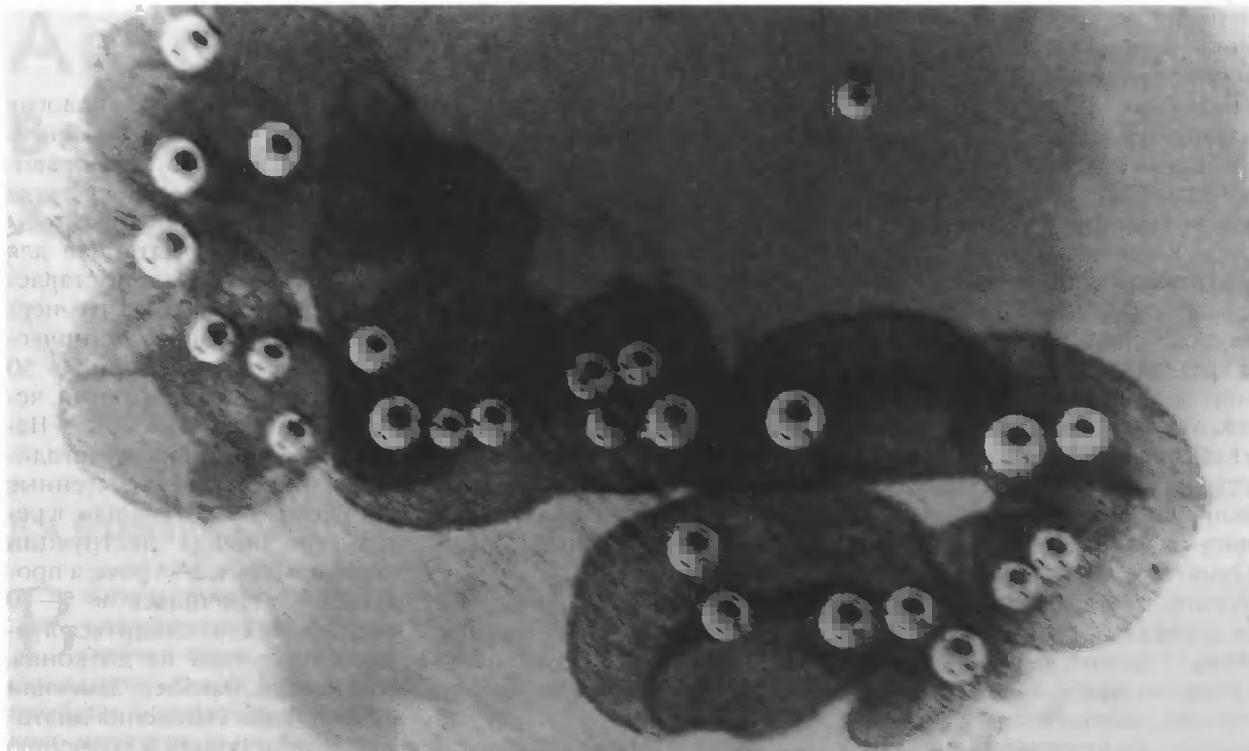
Заметим, что встреченные в разное время в одном районе океана у Северо-Западной Африки макроколоники *Thalassiosira* значительно различались между собой по максимальным размерам (от 0.5 до 10 см), по количеству клеток (от 50 до 5000 клеток/мм<sup>2</sup>), по способу соединения клеток между собой (цепочками или при помощи слизи), по наличию вокруг колонии оболочки (как в нашем случае) или ее отсутствию (во всех других). Кроме того, в лабораторных условиях получить макроколоники этой водоросли никому еще не удавалось. Отсюда можно сделать вывод: или эта водоросль может менять способ объединения клеток в макроколонию, или существует несколько очень близких видов рода *Thalassiosira*.

## Им не страшны и полярные льды

До сих пор мы рассказывали о макроколониях диатомей, живущих в тропиках. А что можно сказать о видах, обитающих в высоких широтах Арктики, большая часть которой почти круглый год покрыта дрейфующими льда-

<sup>2</sup> Стунжас П.А., Селивановский Д.А. // Океанология. 1999. Т.39. №3. С.461–468.

<sup>3</sup> Крупаткина Д.К., Селивановский Д.А., Стунжас П.А. // Изв. РАН. Серия биол. 1994. №3. С.453–461.



Макроколония *Thalassiosira parthenia* длиной 4 см в конце шестичасового опыта по определению первичной продукции методом  $^{14}\text{C}$ . Хорошо видны пузырьки с кислородом, образовавшимся в процессе фотосинтеза.

ми? Лед пропускает вниз очень мало света, а его и так не много в высоких широтах, к тому же в Арктике сравнительно низкие концентрации биогенов, включая и кремний. Однако диатомеи приспособились к жизни и в таких условиях. Свойства и роль льда в жизненном цикле фитопланктона сложны и многообразны<sup>4</sup>. Мы будем говорить только о нижней поверхности льда, где часто концентрация водорослей намного выше, чем в подледном метровом слое воды. Есть здесь и макроколонии диатомей, обладающих положительной плавучестью — это такие студенистые образования, напоминающие по форме и размерам медуз

(шар или овал с подобием юбки диаметром до 20 см). Видовой состав “шаров” довольно разнообразен, но доминируют среди них пеннатные *Fragilaria*. “Шары” видны сквозь молодой гладкий лед. И.А.Мельников насчитывал на 50м<sup>2</sup> 20—30 колоний. Если движение льдины медленное, они в основном скапливаются в лунках (полости и каверны) льда. Несомненно, здесь наиболее выгодные для колоний условия: максимальная освещенность и достаточно биогенов. При увеличении скорости движения льдины течение частично вымывает диатомей из лунок и количество их в воде увеличивается. Уже из этих наблюдений следует, что “шары” обладают положительной плавучестью — мало отличающейся от нейтральной, но достаточной, чтобы “шар” не

врастал в лед быстро. В Арктике лед нарастает в основном снизу, так как температура воды круглый год отрицательная (от  $-1.4$  до  $-1.6^\circ\text{C}$ ). Способны ли “шары” регулировать свою плавучесть и за счет чего она осуществляется, пока неизвестно, так как изучать эти вопросы *in situ* очень не просто.

### Да здравствуют пузырьки!

Итак, макроколонии обладают плавучестью, несмотря на то, что практически все одиночные клетки фитопланктона, а тем более диатомовые, тяжелее воды. Рассказывая о макроколониях разных видов диатомей, мы объясняли их плавучесть наличием пузырьков с газом, но почти не обосновывали свое ут-

<sup>4</sup>Подробнее см. Мельников И. А. Эко-система арктического морского льда. М., 1989.

верждение. Сделаем это теперь и проанализируем преимущества этого способа по сравнению с другими, обсуждаемыми в литературе.

Напомним, авторы статьи в "Nature" предположили, что макроколонии регулируют свою плавучесть с помощью направленного ионного обмена. Это утверждение основывается на экспериментах с крупными диатомеями (размер клеток порядка 1 мм), в которых и была обнаружена связь плавучести с ионным составом сока клетки: "тяжелые" ионы Ca, Mg, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> замещались на "легкие" Na, K, Cl, NH<sub>4</sub>. Однако с физической точки зрения этот довод несостоятелен, так как концентрация "тяжелых" ионов в окружающей среде (морской воде) сравнительно мала, поэтому даже полное их отсутствие при сохранении общей ионной концентрации, влияющей на осмотическое давление, не скажется на плавучести.

Другая попытка объяснить плавучесть макроколоний основывается на известной особенности диатомей накапливать питательные вещества в виде капелек масла, плотность которого меньше воды. Но и этот способ вряд ли используется водорослями для регуляции плавучести. Жиры запасаются как бы на "черный день", т.е. синтезируются, естественно, в верхних освещенных слоях воды, а потребляются в нижних. Чтобы регулировать плавучесть, все должно быть наоборот.

Об использовании пузырьков с газом диатомеями рода *Thalassiosira* уже подробно рассказано. Но насколько этот механизм может быть универсальным? На образование газовых пузырьков раньше не обращали внимания, видимо, потому, что количество кислорода, генерируемое одной клеткой, образует пузырек столь малого радиуса, что он будет сразу раздавлен поверх-

ностным натяжением. Другое дело, когда объединяется большое число клеток. Например, в Северном море наблюдались хлопья (агрегаты) морского снега, куда попадало много клеток фитопланктона. На свету при определенных условиях (в частности, высокой концентрации кислорода в воде) в них образовывались микроскопические пузырьки газа, и агрегаты всплывали. На поверхности волны сбивали пузырьки, и хлопья начинали тонуть. Но по мере опускания на них снова образовывались пузырьки, и цикл повторялся, и так иногда до 10 дней подряд.

Таким образом, пузырьки могут выполнять роль подводного лифта для макроскопических скоплений не только одноклеточных водорослей рода *Thalassiosira*. Можно предположить, что они работают и в матах, образованных диатомеей *Rhizosolenia*. Эффективность такого лифта довольно велика, ведь на, по существу, пустой пузырек действует только выталкивающая сила Архимеда. Даже при малых размерах пузырьков их присутствие значительно увеличивает плавучесть матов. Однако такая регуляция плавучести сопряжена и с некоторыми трудностями: размер пузырьков зависит от глубины (каждые 10 м давление увеличивается на 1 атм.), кроме того ночью и на больших глубинах фотосинтез невозможен. Тем не менее на примере *Thalassiosira* можно говорить, что пузырьковый транспорт работает по крайней мере до 50–60 м. В Средиземном море эти колонии наблюдались именно на такой глубине и были в хорошем физиологическом состоянии, о чем говорит высокое содержание в них хлорофилла и то, что колонии располагались очень плотным и узким слоем толщиной 2–3 м.

\* \* \*

Биологическая океанология сначала развивалась как описательная наука, но макроколоний как особый объект тогда не заметили. В 60–70-е годы стали собирать материал для количественных сопоставлений. И тут оказалось, что первичная продукция органического вещества примерно в 50 раз меньше его деструкции, чего, конечно, быть не может. Начали искать ошибки в методиках и "хвосты" — неучтенные процессы. Кое-что нашли, в результате оценка деструкции уменьшилась в 2–3 раза, а продукция увеличилась в 5–10 раз. Баланс стал сходиться лучше, но все-таки не до конца. В 90-е годы, наконец, заметили всякого рода скопления диатомей и приступили к изучению их роли в продуцировании органического вещества.

Объективности ради заметим, что на скопления водорослей не обращали внимания по объективным причинам. Описанные макроколонии в больших количествах встречаются, по крайней мере пока, сравнительно редко. Простые скопления клеток часто видны только при непосредственном наблюдении в воде (сейчас их стали изучать при помощи видеокамер), а при сборе сетями скопления разрушаются. При этом оставалось невыясненным главное — способность макроколоний к активным миграциям, что невозможно определить посредством измерения продукции традиционными, т.е. скляночными методами. Будем надеяться, что вскоре баланс сойдется более точно.

**Авторы благодарят Д.А. Селивановского за интерес к работе и Российский фонд фундаментальных исследований — за поддержку. Гранты 97-05-65630 и 98-05-65072. ■**

# Автоколебания в жидкофазных химических системах

В.А.Вавилин

**В**озникновение упорядоченных структур в однородной среде — одна из фундаментальных научных проблем, волнующая и широкого читателя, и научную общественность. Эволюционное развитие мира, первоначальное образование макромолекул и зарождение жизни — лишь некоторые из вечных вопросов науки. В открытых неравновесных системах выделяются два типа упорядоченного поведения: диссипативные структуры, которые образуются и сохраняются благодаря потоку энергии, проходящей через систему; автоволны, возникающие в пространстве с локальными источниками автоколебаний — незатухающих колебаний, характерных для нелинейных динамических систем.

В 2001 г. исполнится 50 лет открытия Б.П.Белоусовым автоколебательной химической реакции, благодаря которой появилась возможность наблюдать зарождение и исчезновение диссипативных структур и автоволн в модифицированной гомогенной химической системе.



*Василий Александрович Вавилин, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института водных проблем РАН. Область научных интересов — химическая кинетика, динамика сообществ микроорганизмов, качество воды. Автор четырех монографий, в том числе "Время оборота биомассы и деструкция органического вещества" (М., 1986). Член международной рабочей группы по созданию общей имитационной модели анаэробных микробиологических процессов.*

## Концентрационные колебания

Колебания в гомогенной жидкофазной химической системе в 1921 г. открыл У.Брей. При разложении перекиси водорода йодатом калия ( $t=25^{\circ}\text{C}$ ) он обнаружил периодическое выделение кислорода из системы, зафиксировав несколько периодов сильно затухающих колебаний<sup>1</sup>. Некоторые

исследователи, ссылаясь на интенсивное газовыделение, высказывали сомнения в гомогенном характере этой реакции, поэтому существование колебательной реакции именно в гомогенной среде опыты Брея так и не доказали.

Интересно, что первую феноменологическую модель гомогенной химической реакции с затухающими колебаниями концентраций реагентов еще в 1910 г. предложил А.Лотка. Модифицировав ее, он получил незатухающие колеба-

<sup>1</sup> Bray W.C. // J. Am. Chem. Soc. 1921. V.43. P.1262.



Борис Павлович Белоусов.  
Фото 30-х годов.

ния<sup>2</sup>. В настоящее время это — известная модель Лотки—Вольтерра, которая описывает периодические изменения численности “жертвы” и “хищника” в экологических системах. В 30—40-е годы автоколебания в газофазных химических реакциях получили теоретическое и экспериментальное подтверждение. Тогда Д.А.Франк-Каменецкий показал, что модель Лотки можно применить для описания периодических процессов окисления высших углеводов<sup>3</sup>. Для газофазных химических реакций Франк-Каменецкий ввел термин “термокинети́ческие колебания”, т.е. химические колебания, связанные как с кинетикой реакций, так и сопровождающимися в ходе реакции температурными изменениями<sup>4</sup>. Видимо, термокинети́ческие колебания нельзя считать строго гомогенными.

Современная история исследований колебательных химических реакций началась

в 1951 г. с открытия Белоусова. Он обнаружил, что при каталитическом (ионы церия) окислении лимонной кислоты броматом калия раствор регулярно меняет окраску от бесцветной к желтой и далее снова к бесцветной. Его статья с феноменологическим описанием колебательной реакции дважды отклонялась редакциями академических химических журналов. Лишь в 1959 г. ее сокращенный вариант вышел в малоизвестном “Сборнике рефератов по радиационной медицине”. Вероятно, основной причиной неприятия химиками этого феномена послужило широко распространенное мнение о том, что вдали от положения равновесия такие колебания запрещены вторым законом термодинамики. В то же время некоторые колебательные гетерогенные химические реакции, открытые еще в конце прошлого века, получили широкое признание. Именно их рассматривали как аналоги ряда периодических биологических процессов, например “биологических часов”.

В 1955 г. И.Пригожин показал, что в открытой системе около стационарного состояния, достаточно удаленного от химического равновесия, возможны химические колебания<sup>5</sup>. Именно он обратил внимание западной научной общественности на работы советских исследователей.

## Систематические исследования

Классическая теория колебаний с давних пор развивалась на физических объектах. Советскую школу теории колебаний основал Л.И.Мандельштам. Начиная с 1929 г. методы Ляпунова—Пуанкаре по устойчивости периодических

решений применялись в изучении нелинейных колебаний. Ведущую роль в развитии этой области играла горьковская научная школа А.А.Андропова, а его монография, совместная с А.А.Виттом и С.Э.Хайкиным, стала настольной книгой нескольких поколений физиков<sup>6</sup>. В начале 60-х годов на кафедре биофизики физического факультета МГУ и позже в лаборатории физической биохимии Института биологической физики АН СССР работа Белоусова продолжилась.

Тогда С.Э.Шноль предложил аспиранту А.М.Жаботинскому начать исследование механизма реакции Белоусова<sup>7</sup>. Интерес вызывало и сравнение механизмов реакций Белоусова и Брея. Перед Жаботинским и мной, студентом-дипломником кафедры биофизики физического факультета МГУ, стояла задача обнаружить колебания в системе Брея с помощью непрерывной спектрофотометрической регистрации концентрации йода.

Через полгода безуспешных попыток мы зарегистрировали такие колебания при относительно высокой температуре (60°C). Они происходили синхронно с колебаниями скорости выхода кислорода из системы и окислительно-восстановительного потенциала. Сейчас можно сказать, что нам сопутствовала удача: слишком узкой была в этой системе область существования колебаний и гораздо вероятнее — ее монотонное поведение. Между двумя гомогенными периодическими реакциями Брея и Белоусова сразу же возникла своего рода “конкуренция”. Тем не менее легкое воспроизведение результатов и красивые

<sup>2</sup> Лотка А. J. // J. Phys. Chem. 1910. V.14. P.271.

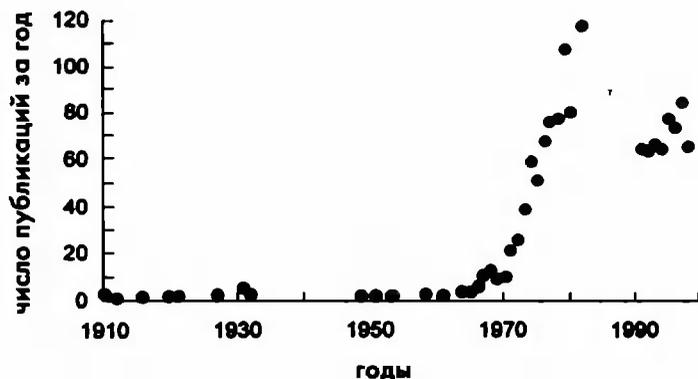
<sup>3</sup> Франк-Каменецкий Д. А. // ДАН СССР. 1939. T.25. С.672.

<sup>4</sup> Франк-Каменецкий Д. А. // Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М., Л., 1947.

<sup>5</sup> Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. М., 1960.

<sup>6</sup> Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний. М., 1959.

<sup>7</sup> Жаботинский А. М. // Биофизика. 1964. T.9. С.306; Он же. // ДАН СССР. 1964. T.157. С.392.



*Динамика публикаций по колебательным реакциям в мировой литературе в XX в. Видно, что латентный период в исследованиях (до середины 60-х) сменился стремительным ростом после первых публикаций А.М.Жаботинского.*

визуальные эффекты нашли у реакции Белоусова больше приверженцев, и она получила широкую известность (позднее ее назвали реакцией Белоусова—Жаботинского, а периодическую реакцию Брея — реакцией Брея—Либавского).

К настоящему времени реакция Белоусова—Жаботинского заняла достойное место в мировой науке. Она фактически стимулировала появление новой области науки, а экспериментальные работы инициировали развитие современной теории динамических систем. В 1988 г. на русском языке вышел перевод английского издания книги “Колебания и бегущие волны в химических системах” с наиболее полной сводкой результатов, полученных ведущими исследователями различных школ. Позднее, в 1991 г., Жаботинский повторил хронологическое изложение работ своей группы в первых номерах широко известного ныне американского журнала “Chaos”.

В группе Жаботинского проводились как эксперимен-

тальные, так и теоретические исследования. М.Д. Корзухин доказал теорему о том, что в гомогенной химической системе можно получить любое наперед заданное во времени поведение концентраций реагентов<sup>8</sup>. Таким образом, достаточно абстрактную нелинейную модель, описывающую колебания, можно развернуть в кинетические уравнения, подчиняющиеся закону действующих масс, элементарности парных взаимодействий и пр. Основной идеей этой работы, инициированной А.М.Молчановым, было обращение метода квазистационарных концентраций. В итоге Корзухин с соавторами предложили первую модель колебательной реакции белоусовского типа. Такой подход, поддерживаемый математиками, далеко неоднозначно воспринимался химиками. Достаточно вспомнить разгоревшуюся зимой 1969 г. острую дискуссию о правомерности подобного

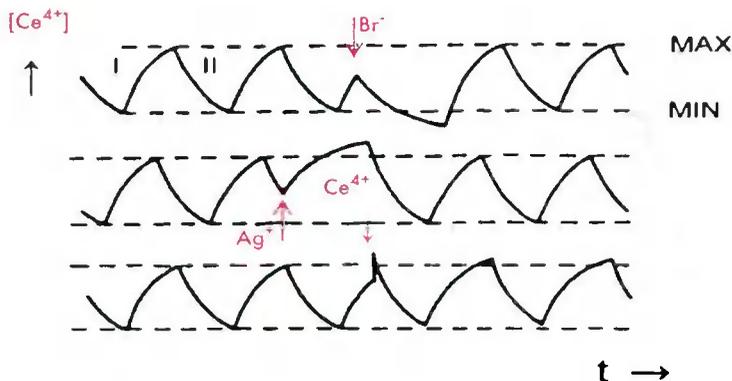
<sup>8</sup> Корзухин М.Д. // Колебательные процессы в биол. и химич. системах / Ред. Г.М.Франк М., 1967. С.231.

подхода для химической кинетики на защите кандидатской диссертации Корзухина в Институте химической физики АН СССР. Лишь упоминание имени Пригожина, пропагандирующего работы Жаботинского, позволило разрешить обстановку.

В изучении механизма колебаний использовали и традиционный кинетический подход, когда экспериментальные работы сопровождаются анализом возможных схем химических реакций, записью уравнений химической кинетики и сопоставлением экспериментальных и теоретических результатов. Идея по традиционному кинетическому пути, мы экспериментально определили области колебаний в реакциях Брея и Белоусова, подробно изучили зависимость их характеристик от параметров системы, а также ключевые стадии этих реакций<sup>9</sup>. Оказалось, что в реакции Белоусова диапазон начальных концентраций реагентов, в котором происходят колебания, составляет два-три порядка, но для реакции Брея он менее одного.

В системе Белоусова в ходе колебаний реакция окисления церия ( $\text{Ce}^{3+}$ ) броматом калия (стадия I) чередуется с реакцией его восстановления ( $\text{Ce}^{4+}$ ) малоновой кислотой (стадия II). Переключателем, обеспечивающим смену реакций, служит концентрация бромид-иона ( $\text{Br}^-$ ). Исследования кинетики и стехиометрии автокаталитической стадии I позволили создать первую кинетическую схему реакции, в которой период индукции (лаг-фаза) в значительной мере зависит от равновесной концентрации  $\text{Br}^-$  — сильного

<sup>9</sup> Вавилин В.А., Жаботинский А.М. // Кинетика и катализ. 1969. Т.10. С.83; Вавилин В.А., Заикин А.Н. // Там же. 1971. Т.12. С.309; Vavilin V.A., Zhabotinsky A.M., Zaikin A.N. Biological Chemical Oscillators / Ed. B.Chance et al. Paper Contrib. Conference 1968—1969. N.Y., 1973. P.71.

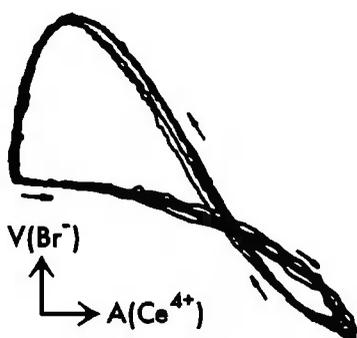


Автоколебания концентрации церия и принудительная смена стадий I и II, вызываемая добавкой  $Br^-$ ,  $Ag^+$  и  $Ce^{4+}$ . В системе имеется некоторая концентрация  $Ce^{4+}$ . На стадии II образуется  $Br^-$ , который после взаимодействия с активными частицами реакции окисления  $Ce^{3+}$  исчезает из системы. При достаточно большой концентрации  $Br^-$  окисление полностью заторможено. Когда концентрация  $Ce^{4+}$  уменьшается и достигает минимального значения, резко падает концентрация  $Br^-$ . Окисление  $Ce^{3+}$  (I стадия) начинается с большой скоростью, и концентрация  $Ce^{4+}$  возрастает; когда она достигает максимального значения, увеличивается концентрация  $Br^-$ , что тормозит окисление  $Ce^{3+}$ . После этого цикл повторяется.

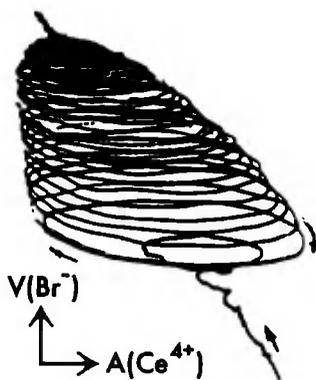
ингибитора стадии I. Источником  $Br^-$  служат бромпроизводные малоновой кислоты. Стадия II индуцирует разложение бромпроизводных малоновой и уксусной кислот, с выделением  $Br^-$ . Форма колебаний в закрытой системе определялась начальными концентрациями реагентов. Были зарегистрированы как квазигармонические, так и релаксационные колебания.

Ранее реакцию Белоусова проводили в закрытом реакционном сосуде, поэтому из-за расходования реагентов (бромата и малоновой кислоты) колебания затухали. Затем в проточном реакторе непрерывного перемешивания получили незатухающие колебания, что позволило изучать тонкие стороны механизма автоколебаний, в частности зависимость периода и амплитуды колебаний от интенсивности ультрафиолетового излучения. В таком реакторе был зарегистрирован и режим прерывистой генерации<sup>10</sup>.

Одновременно измеряя концентрацию йода спектрофотометрически и потенциал йодсеребряного электрода (концентрацию  $I^-$ ), мы получили классическую картину разрывного предельного цикла в периодической реакции Брея, когда в системе концентрация  $I_2$  служит медленной переменной, а концентрация  $I^-$  — быстрой. Используя спектрофотометрическую запись ( $Ce^{4+}$ ) одновременно с записью потенциала бромсеребряного электрода ( $Br^-$ ), мы увидели достаточно сложные фазовые портреты. Эти результаты свидетельствовали прежде всего о более сложном, чем в реакции Брея, механизме колебаний в реакции Белоусова, описание которой потребовало введения более двух переменных. Последнее противо-



Предельные циклы типа восьмерок в периодической реакции Белоусова — Жаботинского.  $A$  ( $Ce^{4+}$ ) — светопоглощение,  $V$  ( $Br^-$ ) — потенциал бромсеребряного электрода.



Пример эволюции колебательного режима в ходе периодической реакции Белоусова — Жаботинского.

<sup>10</sup> Вавилин В. А., Жаботинский А. М., Заикин А. Н. // Журн. физ. химии. 1968. Т. 42. С. 3091.

речило существовавшей тогда математической модели, что затормозило изучение достаточно сложного динамического поведения химических систем типа странного аттрактора.

## Пространственные эффекты

В первых своих работах Жаботинский для наблюдения химических волн начал применять в качестве реакционного сосуда трубку (одномерный реактор), используя церий как катализатор. Замена церия на катализаторы типа ферроина позволила изучать пространственное поведение периодической реакции в тонком слое раствора<sup>11</sup>. Идея использовать чашки Петри (как двумерный реактор) принадлежала П.В.Гулаку, тогда студенту-дипломнику кафедры биофизики биологического факультета МГУ. От физика-экспериментатора обычно требуется грамотно проводить соответствующие измерения, а у биолога более богатый полет фантазии. Она и подтолкнула применить для изучения колебаний классическую в микробиологии чашку Петри, которая оказалась чрезвычайно удобной для экспериментальных исследований автоволн.

Термин «автоволна» был введен Р.В.Хохловым. Автоволны характерны для возбудимых (активных) сред, в которых составляющие элементы могут находиться в одном из трех состояний: покоя, возбуждения и рефрактерности (затрудненной возбудимости). Пример одиночной волны — это распространение пламени. В 1938 г. Я.Б.Зельдович и Д.А.Франк-Каменецкий показали, что

в однородной химической среде фронт горения движется с постоянной скоростью, не зависящей от начальных условий<sup>12</sup>. При этом горение соответствует состоянию возбуждения. За фронтом пламени движется зона рефрактерности, в которой все исходное вещество исчерпано и горение невозможно. В биологической активной среде (возбужденных нервных сетях, сердечных аритмиях и пр.) после прохождения волны идет процесс восстановления, приводящий к исходному состоянию покоя.

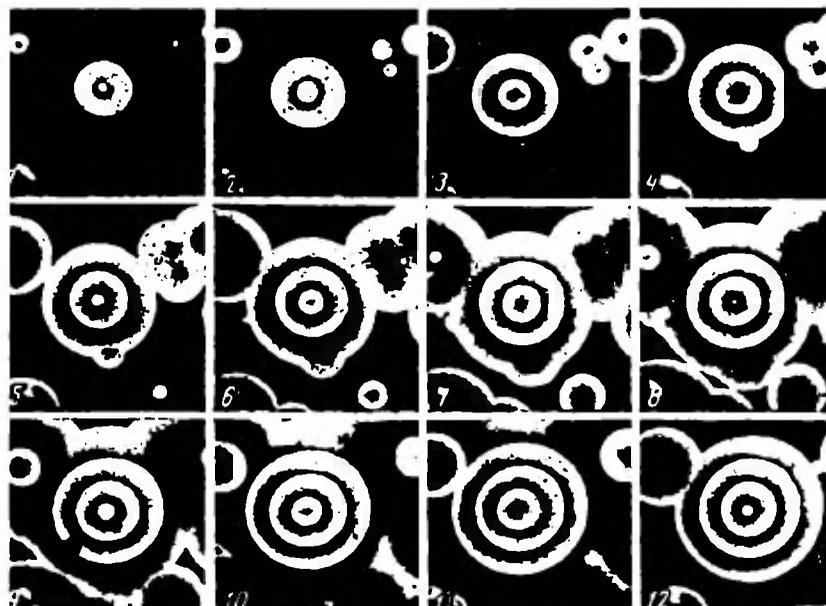
Первую математическую модель активной среды (сердечной мышцы) предложили в 1946 г. Н.Винер и А.Розенблют<sup>13</sup>. В 60-е годы И.М.Гельфанд и его ученики продолжили исследования активных сред. После переезда Института биофизики АН СССР в г.Пушино установились ра-

бочие контакты между школой Гельфанда и группой Жаботинского.

Движение волны возбуждения в реакции Белоусова—Жаботинского, идущей в тонком слое раствора, сопровождается достаточно медленными (мм/мин) локальными изменениями цвета раствора — от красного к синему и наоборот. До исчерпания химических реагентов (бромата, малоновой кислоты) в чашке Петри может пройти до 100 отдельных автоволн. Перенос возбуждения от одного элемента среды к другому обусловлен диффузией реагентов. Выше уже говорилось о ключевой роли бромид-иона в реакции Белоусова. В распределенной системе возбуждение (автокаталитическая стадия I) подавляется выделяющимся ингибитором (Вг). Спустя некоторое время после уменьшения концентрации Вг система вновь готова к возбуждению. Волна движется по среде без затухания, сохраняя форму и амплитуду. В итоге экспериментально было подтверж-

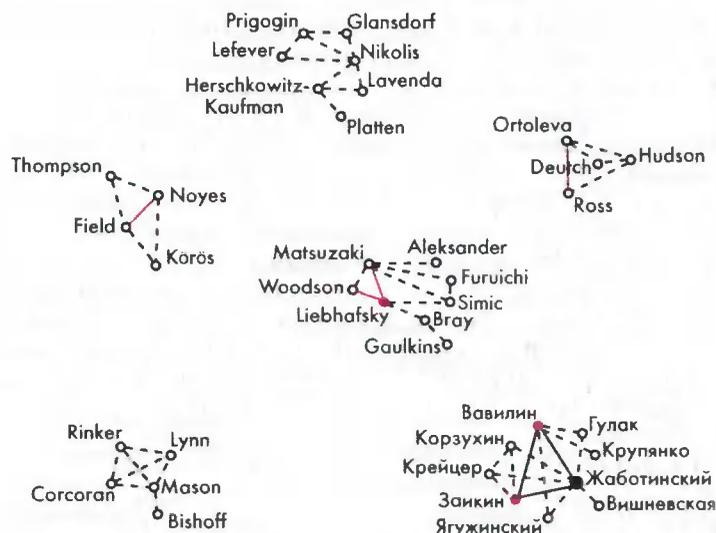
<sup>12</sup> Зельдович Я.Б., Франк-Каменецкий Д.А. // Журн. физ. химии. 1938. Т.12. С.100.

<sup>13</sup> Wiener N., Rosenblueth A. // Arch. Inst. Cardiol. Mexico. 1946. V.16. P.205.



Возникновение ведущих центров в реакции Белоусова—Жаботинского. Интервалы между кадрами составляют 30 с. (Zaikin A.N., Zhabotinskii A.M., 1970)

<sup>11</sup> Вавилин В.А., Гулак П.В., Жаботинский А.М., Заикин А.Н. // Изв. АН СССР. Сер. хим. 1969. Т.11. С.2618.



Мультиграфы соавторства и соответствующие научные школы по периодическим химическим реакциям на 1972 г. Светлые кружки — число публикаций от 1 до 5, цветные — от 6 до 16, черные — более 16; пунктиры (число соавторов) — один-два, цветные линии — от 3 до 5, черные — более 5. (Бургер М., Буйдошо Э., 1988).

дено, что в активной среде более медленные ведущие центры подавляются<sup>14</sup>. В случае нескольких ведущих центров, благодаря эффекту синхронизации ритм всей среды навязывается наиболее быстрым из них. Были обнаружены и спиральные волны, названные ревербераторами.

Автокаталитическая реакция в растворе без перемешивания начинается с некоторых "горячих точек". После накопления "критической массы" активных частиц (видимо, свободных радикалов  $BrO_2$ ) реакция значительно ускоряется при перемешивании раствора. На кафедре биофизики биологического факультета МГУ в ходе автокаталитической реакции была зарегистрирована хемилюминесценция, а в процессе

распространения волны обнаружены характерные структуры — ячейки, языки и др.<sup>15</sup>. Сейчас можно сказать, что это были первые "диссипативные структуры", выявленные в ходе автокаталитической химической реакции (тогда термин еще не был принят). Подобные структуры в однородной распределенной системе с диффузией, где идет автокаталитическая реакция, А.Тьюринг предсказал еще в 1952 г., а сам термин "диссипативная структура" предложил Пригожин.

### Вместо эпилога

С начала активной работы группа Жаботинского не раз демонстрировала реакцию Белоусова видным советским

ученым — И.Е.Тамму, Н.Н.Семенову, В.А.Энгельгардту и др. И хотя они, интуитивно предчувствуя новые научные результаты, понимали важность этих исследований, "колебательная химия" не стала профилирующим направлением в Институте биологической физики АН СССР. Нам пришлось работать в самых различных институтах. Фактически именно это, как и некоторые внутренние разногласия, привели к тому, что группа Жаботинского в 1969 г. распалась. После 1972 г. лидерство наших ученых в этой области стало утрачиваться. Появились новые имена и возникли новые научные школы. Они зачастую воспроизводили наши старые результаты, хотя и без соответствующих ссылок на оригинальные работы. Ведь основные работы группы были опубликованы в отечественной литературе.

В истории, в том числе и истории науки, не бывает сослагательных наклонений. Сейчас можно только безнадежно гадать, что было бы, если бы биохимик Шноль, работавший в радиационной медицине, не натолкнулся на работу Белоусова? Как стали бы развиваться исследования периодических процессов, если бы Жаботинский не продолжил работы Белоусова? И наконец, как бы развивалась колебательная химия в Академии наук СССР, если бы получила достойную своевременную поддержку? В настоящее время сложные вопросы динамики и самоорганизации неравновесных систем изучают в самых разных областях естествознания. ■

<sup>14</sup> Zaikin A.N., Zhabotinskii A. M. // Nature. 1970. V.225. P.535.

<sup>15</sup> Вавилин В.А. // Кинетика и катализ. 1971. Т.12. С.1045.

Местонахождение источника сейсмических волн, прошедших по южной части Тихого океана в июне 1999 г., было определено вблизи подножия подводной горы-вулкана Моноваи, расположенной в 1400 км к северу от северо-восточного побережья Новой Зеландии, между островами Кермадек и Тонга. Эти волны по записям сейсмостанций были отнесены к Т-типу. Зарегистрировано более 394 серий достаточно мощных Т-волн, возникновение которых носило характер взрыва, а прохождение занимало немногим более 12 мин (наиболее крупная серия пришла на 6 июня). При этом отмечено сравнительно мало предвестников сейсмотолчков. 10 июня 1999 г. сигналы, фиксировавшиеся на протяжении шести суток, внезапно прекратились.

Первый, но слабо подтвержденный факт извержения подводной горы-вулкана Моноваи относится к 1444 г.; между 1977 и 1990 гг. документально зафиксировано семь извержений; в 1995 г. приборы записали целый рой Т-волн.

Geotimes. 1999. V.44. №10. (США).

В водах северной зоны Мексиканского залива отмечен весьма значительный дефицит растворенного кислорода. При этом в бассейн р. Миссисипи с сельскохозяйственными и коммунальными стоками поступает ежегодно возрастающее количество азота (с 1955 г. его сброс увеличился с 0,33 до 0,95 млн т/год). По мнению специалистов, избыток азота и служит причиной крайне низких концентраций кислорода в водах залива. Его дефицит можно устранить, если восстановить 2 млн га болот и 7,6 млн га запруженных водоемов, входивших в общую площадь водосбора р. Миссисипи.

Environmental science and Technology. 2000. V.34. №1. P.17A (США).

Н.Троуер (N.Thrower) известен своими трудами по истории морской картографии и навигации. Выступая в Скриппсовском институте океанографии с докладом, он сообщил, что выдающийся английский ученый Эдмунд Галлей (1656—1742) знаменит не только как астроном, открывший периодическую комету, названную впоследствии его именем, и сделавший ряд других крупных открытий. Будучи первоклассным капитаном, он совершил в 1698—1701 гг. ряд экспедиций в океане. Хотя Галлей и не обрел столь широкой известности, как Д.Кук или Ф.Дрейк, тем не менее внес весомый вклад в морскую картографию и навигацию.

Scripps Institution of Oceanography Explorations. 1999. V.6. №1. P.31 (США).

В июне 1999 г. несколькими группами швейцарских и французских гляциологов удалось отобрать ледовые керны в горном массиве Иллимани (Illimani), расположенном в бразильских Андах на высоте 6500 м. Изотопный и химический анализы состава льдов, а также заключенных в них газов и следов некоторых химических элементов позволит провести надежную реконструкцию климата тропических областей Земли.

Science et vie. 1999. №984. P.22 (Франция).

Японцы разработали программу обеспечения парковых бассейнов и частных аквариумов рыбами-роботами. Их роботы выполняются из силиконовых материалов, придающих им необходимую эластичность и герметичность. “Внутренние органы” — это сложные электронные системы, позволяющие “рыбам” плавать в любом направлении. Первыми из уже действующих роботов стали лец и целакант.

Эту радость от общения с новым отрядом электронных моделей животных (тамагучи для взрослых) огорчает одно обстоятельство — они будут плавать не дольше четырех лет.

Terre Sauvage. 1999. №145. P.19 (Франция).

Германо-итальянская археологическая экспедиция, работающая в Сирии, обнаружила в 20 км от Дамаска руины дворца, построенного 4 тыс. лет назад. Археологи уже расчистили тронный зал, поражающий огромными для того времени размерами (44 м в длину и 24 м в ширину). Здесь же была найдена прекрасно декорированная посуда из глины и девять надгробий. Создателями дворца были амориты — кочевые семитские племена, пришедшие около 2100 г. до н.э. с Аравийского п-ова и основавшие ряд городов-государств на берегах Евфрата. Тогда же они захватили небольшой город Вавилон и превратили его в свою столицу.

Sciences et avenir. 2000. №635. P.20 (Франция).

На территории Великобритании, в одном из котлованов, были найдены куски древесного угля возрастом 5500 лет. При тщательном их осмотре выяснилось, что это два небольших хлебца, выпеченных из ячменной муки. М.Робинсон (M.Robinson), исследовав под микроскопом их структуру, со всей определенностью заявил, что хлебцы — древнейшие из когда-либо обнаруженных на Британских о-вах. Судя по радиоуглеродной датировке, их выпекли 3620 лет до н.э. Найденные рядом с хлебцами лесные орехи, раковины и кремневые ножи указывают на то, что весь этот набор представляет собой ритуальное приношение.

Sciences et avenir. 1999. №634. P.36 (Франция).

# Новый чужеродец в Черном море

С.М.Игнатъев,

кандидат биологических наук

Г.В.Зуев,

доктор биологических наук

Институт биологии южных морей Национальной академии наук Украины

Севастополь

Обмен животными между разными частями Мирового океана — процесс закономерный и непрерывный. Виды расширяют границы своего обитания благодаря морским течениям, прибывают как “пассажиры” на торговых судах, искусственно переселяются (интродуцируются) человеком. И если местные условия им подходят, вселенцы начинают размножаться. При отсутствии традиционных врагов и болезней их массовое развитие может привести к существенным изменениям в местных экосистемах.

За последние десятилетия количество проникших в Черное море представителей флоры и фауны исчисляется несколькими десятками видов. Как минимум дважды экзотические вселенцы существенно меняли структуру черноморских экосистем и наносили серьезный экономический ущерб. К примеру, изменения донных биоценозов, вызванные хищным дальневосточным моллюском *Rapana thomasi*, в середине 50-х годов привели к практически полному прекращению черноморского промысла устриц и их марикультуры.

В конце 70-х годов в Черное море с балластными водами судов, перевозивших зерно из США в СССР, проник *Mnemiopsis leidyi* — гребневик из отряда *Lobata*<sup>1</sup>. Этот про-

жорливый хищник населяет теплые прибрежные воды американского континента, где кормится мелкими пелагическими рачками и личинками донных моллюсков, которыми питается и молодь промысловых рыб. Поэтому при массовом развитии гребневика она лишается своего обычного корма и просто гибнет от голода. Самого мнемииописа черноморские хищники не потребляют. Для Черного моря он стал “пищевым тупиком”, так как около 90% продукции кормового зоопланктона минует высшие трофические уровни, ибо переводится гребневиком непосредственно в детрит.

Впервые обнаруженный в Черном море в 1982 г., через шесть лет “североамериканский гость” занял доминирующее положение в планктоне новой акватории, а в середине 90-х годов его биомасса достигла рекордных величин — 12 кг под квадратным метром водной поверхности. Кроме того, мнемииопис проник в Азовское и Средиземное моря, где также сильно размножился. Из-за сниженной им численности кормового зоопланктона пострадали запасы промысловых пелагических рыб, прежде всего — тюльки и хамсы. Ущерб, нанесенный мнемииописом рыболовству причерноморских стран, оценивается в 200 млн амер. долл. в год, борьба с ним стала международной. И хотя в последнее время отмечена тенденция к снижению численности этого все-

ленца, его давление на черноморскую экосистему сохраняется. А в 1997 г. там обнаружен еще один чужеродец — гребневик *Beroe ovata*<sup>2</sup>. К лету 1999 г. его численность резко увеличилась, расширилась и область распространения.

Гребневик рода *Beroe*, насчитывающего 5-6 видов, распространены от Арктики до Антарктики, в Северной Атлантике они даже образуют значительные по плотности скопления. Эти крупные (до 20 см) студенистые, или желеобразные, животные хорошо выживают в аквариумах и потому удобны для экспериментальных исследований. Свое название род получил от имени древнегреческой нимфы-океаниды Берое — дочери Океана и Тефиды<sup>3</sup>. Поэтому первые исследователи, описавшие животное в середине XVIII в., отмечали, что восемь поясков гребных пластинок, синхронно движущиеся и переливающиеся, напоминают пояс нимф. Этим гребневиком отличаются от медуз, которые передвигаются реактивным способом, но с которыми тем не менее их объединяли в одну таксономическую группу по той причине, что и те и другие на 95% состоят из воды. Именно наличие поясков (гребней)

<sup>1</sup> Konsulov A.S., Kamburska L.T. // Тр. на Ин-та океанология. 1998. Т.2. С.195—198 (Болгария).

<sup>2</sup> Серавин Л.Н. // Зоол. журн. 1995. Т.74. Вып.12. С.3—15. В книге РГревс “Мифы Древней Греции” (М., 1992. С.49) со ссылкой на Аполлония Родосского IV Берое (Бероя) представлена дочерью Адониса и Афродиты, легендарной основательницей фракийской Берои.

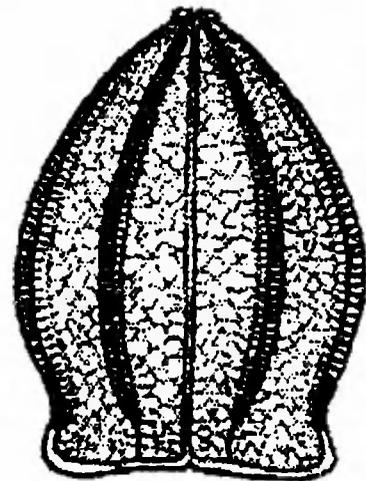
<sup>1</sup> Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. Нашествие чужеродец // Природа. 1993. №9. С.3—12.

и позволило немецкому зоологу Эшольтцу выделить в 1829 г. отдельный тип — ктенофор, или гребневиков (от греч. κτενος — гребень).

Долго считалось, что берое, как и другие гребневики, питается кормовым зоопланктоном и потому являет собой пищевого конкурента промысловых рыб. Это предположение опроверг сначала Т.Нельсон, а позже — М.М.Камшилов, обратившие внимание, что берое лишено ловчих лопастей, типичных для планктоноядных гребневиков из отряда *Lobata*<sup>4</sup>. В дальнейших исследованиях (в том числе и подводных наблюдениях) выяснилось, что особенность животных рода *Beroe* — их питание исключительно желетелыми организмами, прежде всего — другими гребневиками родов *Mnemiopsis* и *Bolinopsis*. Более того, ракообразными и личинками рыб берое просто не способен питаться, его пищеварительные ферменты не могут даже завершить переваривание рачков, начатое гребневиками-жертвами. В экспериментах, когда берое пытались кормить рачками, он выплевывал их и погибал в конечном счете от голода. Мелких лобатных гребневиков он заглатывает целиком: коснувшись добычи “губами”, резко расширяет рот, широко раздвигая “губы” во всех направлениях, и жертва втягивается в глотку (стоматодеум). Способность к большому растяжению тела позволяет заглатывать и жертву больших размеров, а от совсем крупной для него добычи берое откусывает куски<sup>5</sup>. Кроме гребневиков он может кормиться сальпами, сцифоидными (*Aurelia aurita*) и гидроидными (*Bougainvillia super-*

*ciliaris*) медузами<sup>6</sup>. Но если ему случается заглотить особь своего вида, он отрыгивает ее без вреда для себя. Очень важно, что, в отличие от мнемипсиса, берое составляет значительную часть рациона многих тресковых рыб.

Большая прожорливость (средних размеров *B. ovata* за сутки потребляет 7–10 экз. 10–20-миллиметровых мнемипсисов), высокая плодовитость (самка выметывает до 5000 яиц) и способность к эффективной регенерации позволяют берое сдерживать пресс мнемипсиса на прибрежных экосистемах Северной Америки. Будучи его естественным потребителем, берое, видимо, способен значительно уменьшить численность мнемипсиса и в Черном море. Упомянутые особенности и учли исследователи, предложившие интродуцировать туда берое<sup>7</sup>. Но эта идея не была реализована, так как считалось, что он не вынесет низкой черноморской солености. Кроме того, в “природном эксперименте” не выявилась способность этого гребневика снижать численность *M.leidy*: аборигенная популяция берое в Мраморном море не смогла в 1992–1993 гг. смягчить катастрофическое воздействие мнемипсиса, вселившегося туда из Черного моря<sup>8</sup>. А последствия нового вмешательства в черноморскую экосистему было трудно предугадать. Впрочем, интродукция не понадобилась, так как гребневик берое и без нее проник в Черное море из Средиземного. Впервые



*Beroe ovata*. Рисунок из определителя планктона (Mayer, 1912).

найденный в октябре—ноябре 1997 г. в районе Шабле у побережья Болгарии, в мае и августе 1998 г. он был обнаружен в северо-западной части Черного моря<sup>9</sup> (включая придунайский район), летом 1999-го — вдоль Кавказского побережья.

С 1995 г. в нашем институте проводятся ежемесячные наблюдения за состоянием желетелого макропланктона. В августе—сентябре 1999 г. в его составе оказался новый гребневик, хорошо отличный от других черноморских гребневиков — *Mnemiopsis leidy* и *Pleurobrachia pileus*. Судя по особенностям внешнего строения, это тот же *B. ovata*, что найден двумя годами раньше у берегов Болгарии.

Первые достоверные находки одиночных берое у берегов Крыма относятся к середине августа 1999 г. Крупные (80–120 мм) одиночные особи плавали над небольшими глубинами в бухтах Казачья, Круглая

<sup>4</sup> Nelson T.C. // Biol. Bull. 1925. V.48. P.92–111; Камшилов М. М. // Тр. Мурманского морского биол. ин-та. 1961. Вып.3 (7). С.36–48.

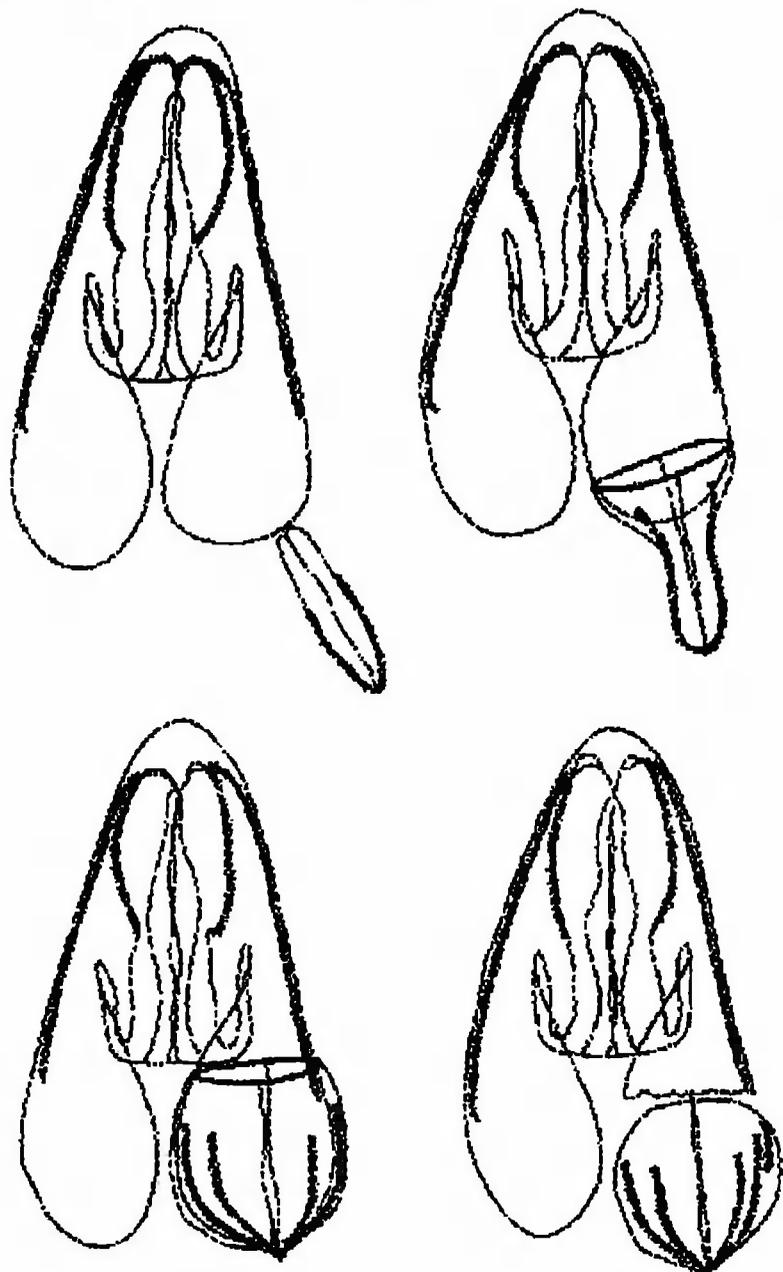
<sup>5</sup> Swanberg N. // Marine Biol. 1974. V.24. P.36–74.

<sup>6</sup> Matsumoto G.I., Harbison G. R. // Ibid. 1993. V.117. №2. P.279–287; Серавин Л.Н. // Зоол. журн. 1996. Т.75. Вып.9. С.1304–1311.

<sup>7</sup> Christensen V., Caddy J.F. Reflections on the pelagic food web structure in the Black Sea // Report of 2-nd Technical Consultation on stock assessment in the Black Sea. Ankara, Turkey (15–19 Febr. 1993); FAO FISH. REP. ROME-ITALY, 1994. №495. P.84–101.

<sup>8</sup> Шиганова Т.А. // Океанология. 1993. Т.33. Вып.6. С.900–903.

<sup>9</sup> Полищук Л.Н., Настенко Е. В. Некоторые особенности современного развития зоопланктона северо-западной части Черного моря и входящего в ее состав Придунайского устьевоего района // Экосистема взморья украинской дельты Дуная. Одесса, 1998. С.203–244.



Нападение *Beroe ovata* на крупного лобатного гребневика болиоопсиса.

(Омега), Южная, Артиллерийская, Балаклавская. С 20-х чисел сентября сведения о многочисленных наблюдениях нового вида в севастопольских бухтах регулярно поступали от разных лиц. В это же время берое находили у Карадага, в бух-

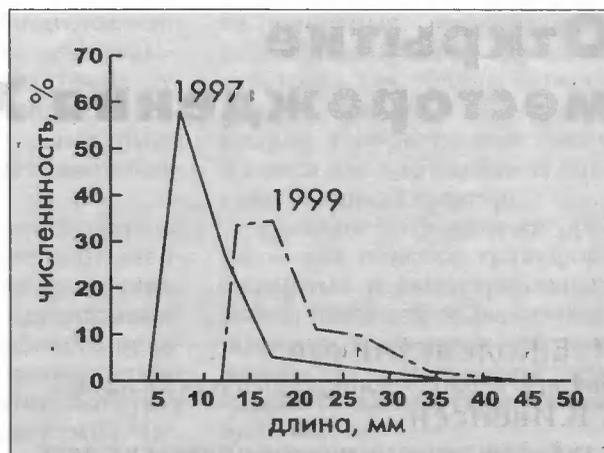
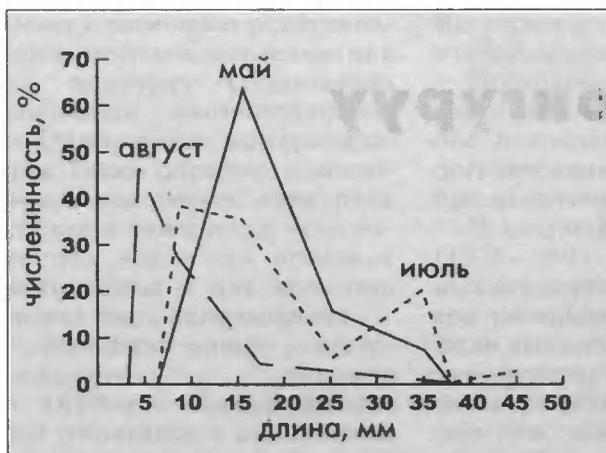
те Ласпи, у мыса Айя и в районе Керчи. Такое распределение позволяет предположить, что новый вселенец распространился вдоль всего Южного побережья Крыма.

Мы провели специальные обловы и нашли берое вдоль

всего морского фасада Севастополя и в Главной севастопольской бухте. Количество особей в одном улове колебалось от одной до 11 (в среднем 4), а максимальная численность отмечалась возле входа в бухту Южная. Размеры гребневика сильно отличались: 16 мм — у мыса Айя, 22 мм — в районе Севастополя, некоторые особи достигали 110 мм. Визуально длина берое в бухте Круглая составила 120–150 мм. Около половины всех гребневиков этого вида были невелики — 25–50 мм. Столь широкий размерный диапазон может свидетельствовать о размножении *B. ovata* в Черном море. Подтверждением этого служит тот факт, что отловленные в бухте гребневика успешно размножались в аквариумах.

Отразилось ли вселение нового гребневика на размерном составе и обилии мнемипсиса? У нас есть на этот счет данные по Севастопольской бухте в период до и после вселения берое, т.е. с конца мая до середины октября 1999 г. В конце мая температура воды в бухте поднимается до 20°C и начинается интенсивное размножение вида *Mleidyi*. С этого времени и до конца августа размерная структура и численность мнемипсиса вполне соответствуют его сезонной динамике в прибрежных водах Черного моря, выявленной В.С.Хорошиловым<sup>10</sup>. В конце мая около 65% составляли 10–20-миллиметровые особи, доля крупных не превышала 15%. Летом доминировала (35–40% от общей численности) молодежь длиной менее 10 мм (в июле) и менее 5 мм (в августе). Только в июле увеличилось (до 20%) количество более крупных (30–40 мм) мнемипсисов, подросших с прошлого

<sup>10</sup> Хорошилов В.С. // Океанология. 1993. Т.33. Вып.4. С.558–562; Игнатъев С.М., Зуев Г.В., Болтачев А.Р. // Экология моря. 1998. Вып.48. С.5–8.



Размерная структура мнемнопсиса летом 1999 г. (слева) и в сентябре 1997 и 1999 гг.

года. Другими словами, в течение лета размерная структура оказалась типичной для периода интенсивного размножения вида. Средняя численность мнемнопсиса при этом закономерно возрастала и достигла максимума в августе: один улов в бухте приносил 160–296 экз., в море — 96.

К сентябрю 1999 г. уже размножился берое, и общая численность мнемнопсиса резко, почти на порядок, снизилась, причем в уловах преобладали крупные, более 20 мм длиной, особи, а молодь, видимо, выел берое. Хищничество нового вселенца станет еще очевидней, если сравнить численность и размерную структуру мнемнопсиса в Севастопольской бухте в сентябре 1997 г., когда *B.ovata* там еще не было, и в сентябре 1999 г. До вселения берое оба показателя напоминали августовские в 1999 г.: преобладала молодь размером 10–20 мм, а общая численность в улове достигала 106 экз. В отличие от этого, в сентябре 1999 г. явно доминировали более крупные особи мнемнопсиса. Добавим, в других местах — бухте Ласпи и у мыса Айя, где также раз-

множился к тому времени берое, сдвиг в сторону крупных особей оказался еще больше.

В Черное море этот гребневик проник скорее всего естественным путем из Средиземного. Из обитающих там 16 видов четыре—пять относятся к роду *Beroe*<sup>11</sup>. *Beroe ovata* распространен там повсеместно, в том числе в прибосфорском районе Мраморного моря. Очевидно, через Босфор он и попал в Черное море. В ноябре 1998 г. сотрудники нашего института, участвовавшие в исследованиях на НИС "Bilim", наблюдали крупных берое непосредственно в проливе с борта судна. Правда, не исключено, что берое, как и мнемнопсис, проник в Черное море с балластными водами грузовых судов.

Резонно возникает вопрос: что ждет Черное море в связи с появлением в его водах нового, агрессивного вида? Вероятнее всего, вселенец уменьшит численность мнемнопсиса и отчасти медузы аурелии, после чего между

этим тремя хищными видами наступит динамическое равновесие. Ясно, что кормовой зоопланктон будет меньше страдать от этих желетелых хищников, его разнообразие и продуктивность не сразу, но возрастут. Кто займет освободившуюся экологическую нишу мнемнопсиса — пелагические рыбы или медуза аурелия, — покажет время. Сам берое может включиться в трофическую цепь Черного моря, став пищей некоторым рыбам, например мерлангу. Есть надежда, что за счет улучшения кормовых условий увеличится численность (и промысел) рыб, но это дело не одного года. С другой стороны, берое может стать источником нетипичных для Черного моря паразитов и болезней. В любом случае черноморские экосистемы стоят на пороге очередной серьезной перестройки с непредсказуемой реакцией на возникающие изменения.

Авторы выражают благодарность всем, кто сообщил информацию о новом виде и оказал помощь в проведении исследований. ■

<sup>11</sup>Tregoubov G., Rose M. Manuel de planctologie Méditerranéenne. Paris, 1957. VI.

# Открытие месторождения Хонгуруу

Рецензия

К.Е. Колодезников,  
доктор геолого-минералогических наук  
Г.В. Ивенсен,  
кандидат геолого-минералогических наук  
Институт геологических наук СО РАН  
г. Якутск

**В №12 “Природы” за 1998 г. была опубликована рецензия А.В. Лапо на книгу “Геологические памятники республики Саха (Якутия)”, в которой, в частности, затрагивается тема открытия месторождения цеолитов Хонгуруу. Рецензент утверждает, что месторождение “в действительности было открыто не в 1978 г., а много раньше – в 1959-м. В 1978 г. якутские геологи лишь уточнили минералогию цеолитов и оформили заявку...”. В редакцию поступило письмо первооткрывателей этого месторождения, в котором они не согласны с точкой зрения Лапо. Мы публикуем ответ якутских геологов.**

**М**ы не можем согласиться с выводом рецензента. Поводом для такого высказывания, видимо, послужила работа Н.М. Чумакова “Стратиграфия и тектоника юго-западной части Вилюйской впадины” (Тектоника СССР. 1959. Т.4.), положившая начало детальному изучению геологического строения Кемпендяйских дислокаций. Он впервые охарактеризовал туфы курунгурыхской свиты и их постседиментационные изменения, которые заключались в цеолитизации, карбонатизации, силицитизации и хлоритизации вулканического стекла.

Чумаков писал: «В большинстве образцов, по заключению А.В. Копелиовича, вулканическое стекло частично или полностью замещено низкопреломляющими минералами цеолитовой группы... При-

сутствие цеолитов подтверждается тремя термическими анализами туфов... (с.385—386)». Не исключено, что это одна из первых публикаций в СССР о цеолитизации туфов. Приоритет в этом вопросе Чумакова и Копелиовича неоспорим. Кроме этой, каких-либо других публикаций нам не известно. К сведению рецензента сообщаем, что ссылки на данную работу у нас имеются везде<sup>1</sup>.

Сам факт установления наличия процессов цеолитизации в туфах ни в коей мере не может претендовать на открытие месторождения. Во-первых, должен быть выявлен масштаб минерализа-

ции, характер ее распространения, а также определен минеральный вид цеолита. Во-вторых, в те далекие 50-е годы в СССР и России вообще не существовало такого полезного ископаемого, как цеолитовые породы. Геологи и понятия не имели о мономинеральных породах, образовавшихся за счет цеолитизации вулканических туфов. Первое цеолитовое месторождение в СССР открыто лишь в 1969 г. геологом из ВНИИгеолнеруда (Казань) А.С. Михайловым, в результате исследований которого цеолитизированные породы у нас в стране стали рассматриваться в качестве полезного ископаемого. В-третьих, группа цеолитовых минералов включает в себя более 40 видов. Из них имеют практическое значение в настоящее время только четыре минерала: клиноптилолит, морденит, шабазит и филлипсит.

<sup>1</sup> См. напр.: Колодезников К.Е., Ивенсен Г.В. // ДАН СССР. 1979. Т.246. №1. С.183—186; Колодезников К.Е. Девон и нижний карбон западной части Вилюйской синеклизы. М., 1982; Колодезников К.Е. Цеолитоносные провинции востока Сибирской платформы. (Автореферат доктора геол.-мин. наук Новосибирск, 1999.)

Нами с помощью рентгеновских методов исследования на Хонгуруу установлена сплошная клиноптилолит-гейландитовая минерализация. Таким образом, о месторождении может идти речь только в том случае, если известно, какое там полезное ископаемое и для чего оно может быть использовано.

Рецензент пишет: «...месторождение... открыто в 1959-м...» Месторождение ли? Обратимся к определениям месторождения. В Геологическом словаре читаем: «Месторождение (полезного ископаемого) — природное скопление полезного ископаемого, которое в количественном и качественном отношении может быть предметом промышленной разработки при данном состоянии техники и в данных экономических условиях...» В Инструкции по организации и производству геолого-съёмочных работ и составлению государственных геологических карт СССР масштаба 1:50 000 (1:25 000) «под месторождением понимаются природные скопления полезных ископаемых, которые по количеству и качеству сырья являются или являлись предметом промышленной разработки, либо могут стать таковыми при изменении технологии и экономических условий...».

Короче говоря, неременный атрибут месторождения, как явствует из приведенных выше определений, — количество и качество сырья. Эти характеристики цеолитовых пород Хонгуруу изучались Институтом геологических наук СО РАН и ПГО «Якутскгеология» (поисково-оценочные работы в 1983—1985 гг., предварительная разведка в 1987—1990 гг. и детальная разведка в 1991—1993 гг.). Подсчитаны запасы в количестве 11 468 тыс. т, в том числе по категории В — 2839 тыс. т, по категории С<sub>1</sub> — 8629 тыс. т.

Месторождение подготовлено к промышленному освоению.

Поскольку цеолитовые туфы сами по себе еще не полезное ископаемое, нами были организованы массовые опытные испытания.

В результате многолетних (1978—1994) целенаправленных исследований специалистов различных организаций<sup>2</sup> были выявлены области практического применения цеолитов месторождения Хонгуруу (комплексная программа «Цеолиты Якутии», руководимая Колодезниковым) и доказана возможность их практического использования:

в горном деле — как заменителя части цемента при производстве бетонной смеси для закладки отработанного пространства, компонента, обеспечивающего высокую коррозионную стойкость цементных композиций, а также входящего в состав взрывчатых веществ;

в строительстве — как активной добавки при производстве цемента, наполнителя для сокращения расхода цемента, заменителя извести в вяжущих растворах, компонента, входящего в состав ячеистого бетона, для производства конструкционного строительного, радиационнозащитного и декоративного материала «Сибирформ»;

в газовой промышленности — для глубокой очистки и осушки природного газа;

в сельском хозяйстве — в качестве добавки в рацион птиц и животных, дезодоранта для помещений, где содержат-

ся животные, пролонгатора дезинфицирующих средств, субстрата для теплиц, компонента овощной и садово-огородной удобрительной смеси и смеси для выращивания рассады овощных культур;

в охране окружающей среды — для очистки трансформаторных и промышленных масел, питьевой воды, промышленных и сточных вод, дымовых газов, в качестве дезодоранта для бытовых холодильников;

в медицине — в качестве энтеросорбента для выведения из организма человека радионуклидов.

В открытии этого месторождения нам помогла статья Н.Ф.Челищева<sup>3</sup>. Из нее мы впервые узнали о существовании в природе нового вида минерального сырья — природных цеолитов.

Вот вкратце то, что Лапо росчерком пера вычеркнул из истории. Здесь затрагиваются интересы большого числа специалистов, которые в течение полутора десятков лет вплотную занимались исследованием геологии месторождения, особенностей вещественного состава и физико-химических свойств цеолитовых пород, их опытными испытаниями в различных областях промышленности, сельского хозяйства и в сфере охраны окружающей среды. И вся эта армия геологов и специалистов различного профиля обвиняется в плагиате, в присвоении себе чужого открытия. ■

<sup>2</sup> Институт неметаллических материалов, Институт горного дела Севера, Институт геологических наук, Институт биологических проблем криолитозоны, Институт минералогии и петрографии (все — СО РАН), ЯкутНИИпроалмаз, НПО «Якутское», Якутская государственная сельскохозяйственная академия, НИЦ «Сельхозторф», Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока РАСХН, Институт биохимии питания СО РАМН, ВНИИПИгаз, СибНИИпроектцемент, ЦНИИгеолнеруд.

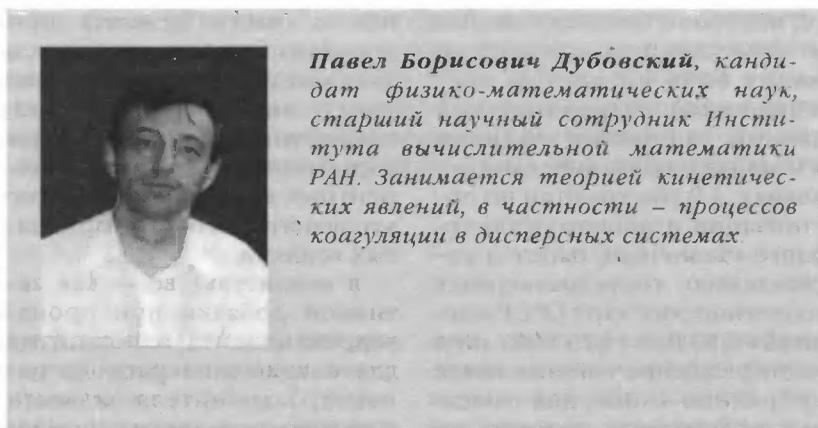
<sup>3</sup> Челищев Н.Ф. Природные цеолиты на старте // Наука и жизнь. 1978. №2.

# “Треугольник” моделей коагуляции и гель-переход в дисперсных системах

П.Б.Дубовский

Отягощенные грузом всевозможных забот, захваченные все убыстряющимся темпом жизни, мы редко останавливаемся, чтобы спокойно взглянуть на небо, полюбоваться причудливыми формами облаков. А если и делаем это, то лишь скользнем взглядом и вздохнем. Однако о явлениях, протекающих в земной атмосфере, пока, увы, известно довольно мало. Важную роль в различных атмосферных процессах играют аэрозольные частицы — жидкие и твердые, мелкие и мельчайшие, как правило, по отдельности невидимые невооруженным глазом (за исключением, конечно, крупных дождевых капель, градин, снежинок или снежных хлопьев, которые также следует отнести к классу аэрозольных частиц).

Примерами дисперсных систем, т.е. двухфазных систем, являющихся механической смесью среды (газообразной или жидкой) с взвесью (жидкой или твердообразной), могут служить не только водно-капельные облака в атмосфере или аэрозольные загрязнения воздуха, но и клубы вулканической или метеоритной пыли, дым от лесных по-



*Павел Борисович Дубовский, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института вычислительной математики РАН. Занимается теорией кинетических явлений, в частности — процессов коагуляции в дисперсных системах*

жаров, топливные смеси в двигателях внутреннего сгорания, полимерные растворы в химических реакторах, коллоидные растворы и гелеобразные взвеси, космические пылевые облака и туманности, кровяные сгустки в кровеносной системе человека.

Подобно живым организмам, частицы дисперсной системы живут своей жизнью: рождаются, чтобы участвовать в различных физико-химических процессах; сталкиваются, соединяясь, распадаясь

и изменяя свойства дисперсной системы; гибнут, выпадая из системы либо в виде дождя, либо в виде желеобразного геля, либо в виде творога при кипячении скисшего молока, либо в виде планеты, выделившейся из космического облака... В отличие от популяции живых организмов, популяция частиц дисперсной системы обычно не размножается, а наоборот, с той или иной скоростью уменьшается из-за укрупнения частиц. Этот процесс связан с коагуляцией, ко-

торая сильнейшим образом влияет на эволюцию таких систем и проявляется в тех случаях, когда в результате столкновений средняя масса частиц системы (т.е. отношение общей массы всех частиц к общему количеству частиц) возрастает. Подобное соединение кластеров в полимерных растворах иногда называют агрегацией.

Аналогичные явления характерны и для таких процессов, как рост кристаллов, образование дислокаций в твердом теле под действием ионизирующего излучения. Таким образом, детальное изучение процессов коагуляции особенно важно в метеорологии, астрофизике, экологии, химии полимеров, технике, радиационном материаловедении<sup>1</sup>.

## “Бухгалтерия” частиц

Математическая теория коагуляции ставит целью описать распределение частиц взвеси по их размерам как функцию времени. Предположим, что массы всех частиц кратны какой-то величине  $m_0$ . Частицы с массой  $im_0$  по аналогии с полимерами будем называть  $i$ -мерами. Обозначим через  $c_i(t)$  концентрацию  $i$ -меров (их число в единице объема) в момент времени  $t$ . Это и есть искомое распределение, или спектр частиц. Будем считать, что взвесь достаточно разрежена, т.е. взаимодействующие частицы не испытывают влияния других частиц в промежутках между столкновениями. Далее, примем, что среднее время столкновения существенно меньше времени изменения функции

распределения, и, наконец, — что случайные силы перемешивают дисперсную систему, оставляя движения частиц между актами столкновений (включая процесс их сближения) статистически независимыми.

Обычно элементарный процесс коагуляции рассматривается как слияние двух сталкивающихся частиц. Основываясь на таком подходе, М.Смолуховский еще в 1916 г. получил следующее дифференциальное уравнение для процесса коагуляции:

$$\frac{dc_i(t)}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{i-1} K_{i-j} c_{i-j}(t) c_j(t) - c_i(t) \sum_{j=1}^i K_{ij} c_j(t). \quad (1)$$

Неотрицательная функция  $K_{ij}$  называется ядром коагуляции, она описывает конкретное взаимодействие между частицами с массами (в единицах  $m_0$ )  $i$  и  $j$  в уравнении (1) считается известной. Фактически  $K_{ij} c_i c_j \Delta t$  есть среднее в интервале  $\Delta t$  количество слияний частиц с массами  $i$  и  $j$  в единице объема дисперсной системы. Из этого определения ясно, что матрица  $K_{ij}$  симметрична ( $K_{ij} = K_{ji}$ ). Первая сумма в уравнении (1) выражает тот факт, что частица с массой  $i$  может появиться, только если соединились две частицы с массами  $(i-j)$  и  $j$ . Вторая сумма показывает, что каждая частица массой  $i$  исчезает в результате слияния с частицей массы  $j$ . Таким образом, уравнение Смолуховского — это по сути уравнение баланса. Если умножить уравнение (1) на  $i$  и просуммировать, то справа получим нуль. Поскольку по смыслу функции распределения  $c_i(t)$  сумма  $\sum_{j=1}^i i c_j(t)$  равна полной массе частиц дисперсной системы в единице объема (с точностью до множителя  $1/m_0$ ), в результате получаем закон сохранения массы, выражающийся в том, что значение указанной бесконечной сум-

мы остается постоянным в любой момент времени. Непрерывная версия дискретного уравнения (1) получается путем предельного перехода  $m_0 \rightarrow 0$  — суммирование по массам переходит в интегрирование.

При этом функция распределения частиц  $c(x,t) dx$  становится средним количеством частиц с массами из интервала  $(x, x+dx)$  в единице объема системы в момент времени  $t$ . Ядро коагуляции  $K(x,y)$  может быть ограниченной или неограниченной функцией. Например, если коагуляция вызывается броуновской диффузией, то

$K(x,y) = C \cdot (x^{1/3} + y^{1/3})(x^{-1/3} + y^{-1/3})$ . Если рассматривается гравитационная коагуляция, когда столкновения частиц вызваны различием в скоростях их падения в поле сил тяжести (что происходит, например, в атмосферных облаках), ядро коагуляции представляется в виде  $K(x,y) = C \cdot (x^{1/3} + y^{1/3})^2 |x^{2/3} - y^{2/3}|$ . Для процессов поликонденсации, когда интенсивность коагуляции полимеров пропорциональна количеству мономеров в полимерной цепочке, имеем  $K(x,y) = Cxy$ .

Однако, помимо уравнения Смолуховского и его непрерывного аналога, существует еще одна коагуляционная модель, которая используется в астрономии для анализа космических объектов (объяснения возникновения звезд, планет, эволюции туманностей, галактик, облаков космической пыли и т.д.) и в технике — при моделировании возгорания горючей смеси в двигателях:

$$\frac{\partial c(x,t)}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} [c(x,t) \cdot \int_0^x y K(x,y) c(y,t) dy] - \int_x^\infty K(x,y) c(x,t) c(y,t) dy. \quad (2)$$

Именно в такой, непрерывной форме эта модель была впервые предложена В.С.Саф-

<sup>1</sup>Подробнее о коагуляции в дисперсных системах можно прочитать: Волощук В. М. Кинетическая теория коагуляции. Л., 1984; Стернин Л. Е., Шрайбер А. А. Многофазные течения газа с частицами. М., 1994.

роновым<sup>2</sup> в 1969 г. на основании идей Я.Оорта и Х.К.ван дер Хюлста.

Уравнение (2) можно трактовать так. Представим себе, что все частицы окрашены в разные цвета и при слиянии пары результирующая частица принимает цвет большей из двух сталкивающихся. Иными словами, будем считать, что рост всех частиц есть результат присоединения меньших партнеров: количество больших по массе частиц сохраняется, а меньших — сокращается за счет их прилипания к более массивным. Тогда первое интегральное слагаемое в уравнении (2) есть попросту увеличение  $c(x,t)$  благодаря присоединению частиц с меньшими массами  $y$  ( $y < x$ ). Вспомним классическое уравнение непрерывности, связывающее плотность вещества  $u(x,t)$  и скорость его течения  $v(x,t)$ :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial (vu)}{\partial x} = 0.$$

Если опустить в уравнении (2) последнее интегральное слагаемое, то несложно усмот-

<sup>2</sup>Сафронов В. С. Эволюция допланетарного облака и образование Земли и планет. М., 1969.

реть в нем уравнение непрерывности с “плотностью”  $c(x,t)$  и “скоростью”, равной первому интегралу в правой части уравнения (2).

Второе интегральное слагаемое в (2) ответственно за уход частиц массой  $x$  ( $y \geq x$ ) в результате их осаждения (седиментации) на более крупные частицы. При таком рассмотрении каждая частица сохраняет свою “индивидуальность” при столкновениях с меньшими частицами, но теряет ее при столкновениях с более крупными. Другими словами, столкновения частиц массой  $x$  с меньшими партнерами приводят к изменению массы частиц  $x$ , а с более крупными — количества частиц  $c(x,t)$ . Эта процедура дает усредненную и сглаженную интенсивность роста всех частиц определенного радиуса, а уравнение Сафронова можно рассматривать как модель непрерывного роста частиц.

## Теперь посчитаем по-другому

Рассмотрим иной механизм роста тех же сталкивающихся частиц с массами  $im_0$

и  $jm_0$  (здесь и далее для определенности полагаем  $i \geq j$ ).

Пусть столкновение  $i$ - и  $j$ -меров приводит к дроблению меньшего  $j$ -мера на  $\alpha = \alpha(j)$  мономеров и один  $(j-\alpha)$ -мер. Каждый из этих  $\alpha$  мономеров мгновенно присоединяется к  $i$ -меру (своему для каждого мономера). Тогда в результате одного акта столкновений мы имеем  $\alpha$  новых  $(i+1)$ -меров и один  $(j-\alpha)$ -мер (рис.1). Параметр  $\alpha(j)$  предполагается неубывающим по  $j$ .

Соображения баланса позволяют выделить четыре физически различных вклада в скорость изменения концентрации. Один обусловлен притоком  $i$ -меров в дисперсную систему благодаря столкновениям  $(i-1)$ -меров и мономеров, появившихся в результате дробления  $j$ -мера; второй — уменьшением числа  $i$ -меров в результате слияния с ними мономеров. Оба слагаемых в правой части кинетического уравнения включают (под знаком суммы) множитель  $\alpha$ , поскольку в одном акте столкновения участвуют именно  $\alpha$  мономеров. Третий и четвертый вклады описывают уменьшение и увеличение концентрации  $i$ -меров соответственно в результате дробления самих  $i$ -меров (третье слагаемое) и дробления больших по размеру  $m$ -меров (четвертое слагаемое). В последнем слагаемом с двойной суммой более крупный  $j$ -мер “откусывает” у  $m$ -мера  $\alpha(m)$  мономеров, а  $i$ -мерный остаток от  $m$ -мера появляется в системе. Понятно, что целые положительные значения  $m$  удовлетворяют соотношению  $i + \alpha(m) = m$ . Например, если  $\alpha(j) = j - 1$ , то при  $i = 1$  последнее уравнение имеет бесконечно много решений  $m \geq 2$ . Не выписывая кинетическое уравнение в общем виде, ограничимся участием одного мономера ( $\alpha = 1$ ):

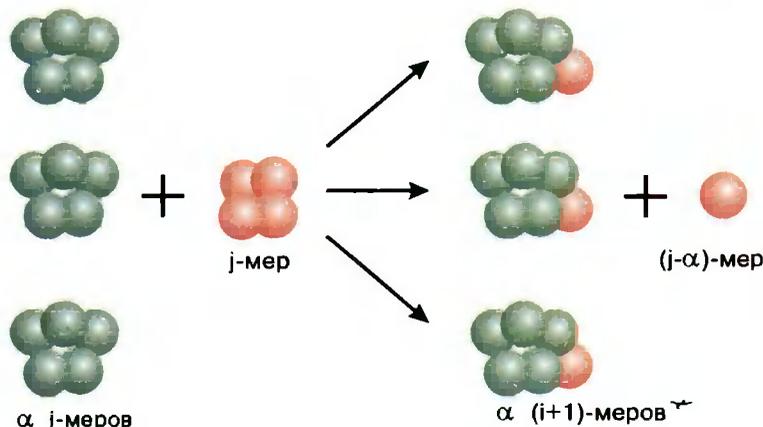


Рис.1. Столкновение  $i$ -мера и  $j$ -мера. От меньшей частицы откалываются  $\alpha$  (здесь — 3) мономера, которые сразу присоединяются к большому частицам.

$$\frac{dc_i}{dt} = c_{i-1} \sum_{j=1}^{i-1} K_{i-1,j} c_j - c_i \sum_{j=1}^i K_{i,j} c_j - \sum_{j=i}^{\infty} K_{i,j} c_i c_j + c_{i+1} \sum_{j=i+1}^{\infty} K_{i+1,j} c_j, \quad i \geq 1. \quad (3)$$

В обратном предельном случае полимерная цепочка полностью распадается на мономеры, которые мгновенно “приклеиваются” к большим частицам (что отвечает максимальному значению  $\alpha(j)=j$ ). В этой ситуации под знаком суммы первого и второго вкладов появится множитель  $j$ , а четвертый вклад, свидетельствующий о возникновении осколков от столкновений, исчезнет, поскольку меньшие частицы разрушаются полностью и без остатка. (Выражаясь математически, вышеупомянутое уравнение  $i+\alpha(m)=m$  не имеет корней  $m$ .) В результате приходим к уравнению

$$\frac{dc_i}{dt} = c_{i-1} \sum_{j=1}^{i-1} K_{i-1,j} j c_j - c_i \sum_{j=1}^i K_{i,j} j c_j - \sum_{j=i}^{\infty} K_{i,j} c_i c_j. \quad (4)$$

Как и следует ожидать, уравнения (3) и (4) подчиняются закону сохранения массы, что нетрудно проверить прямым подсчетом.

Но это еще не все. Во втором предельном случае ( $\alpha(j)=j$ ) переход к пределу  $m_0 \rightarrow 0$  приводит к уравнению (2). Действительно, для получения непрерывной формы уравнения рассмотрим функцию распределения  $s(x,t)$ . Реальная масса  $i$ -мера равна  $im_0$ , поэтому их плотность есть  $s(im_0,t)m_0$ , и подстановка этого выражения вместо  $c_i(t)$  приводит к появлению в (4) известных из математического анализа сумм Дарбу, которые в пределе  $m_0 \rightarrow 0$  дают, по определению, интегралы, стоящие в (2). Итак, оказывается, что уравнение Сафронова — непрерывная версия нового дискретного уравнения. Интерес-

но отметить, что исторически как раз из дискретных уравнений получали обычно их непрерывные аналоги. В качестве примера можно указать на уравнение Смолуховского, которое было вначале получено в дискретном виде в 1916 г., и только в 1928 г. Г.Мюллер предложил его непрерывную версию. В данном же случае мы первые демонстрируем дискретный аналог полученного ранее непрерывного уравнения.

## Связаны ли разные модели?

Рассмотрим еще один механизм элементарного акта столкновения между частицами  $i$  и  $j$ ,  $i \geq j$ . А именно, пусть большая частица  $i$  “откусывает” от  $j$ -мера один  $\beta$ -мер ( $\beta = \beta(j) \leq j$ ) и, таким образом, размер большей частицы становится равным  $(i + \beta)$ . Размер  $j$ -мера будет равен  $(j - \beta)$  (рис.2). Естественно ожидать, что  $\beta(j)$  не убывает с увеличением  $j$ .

Балансные соотношения дают кинетическое уравнение, в правой части которого одно слагаемое описывает приход в систему  $i$ -меров благодаря “слипанию”  $(i-\beta)$ -меров и  $\beta$ -

меров, которые были “откусаны” от  $j$ -меров ( $\beta \leq j$ ), другой член, имеющий отрицательный знак, характеризует уход  $i$ -меров из-за их слияний с другими частицами. Есть и еще одно положительное слагаемое, которое учитывает появление  $i$ -мерных осколков в результате столкновений  $m$ -меров и  $j$ -меров,  $j \geq m$ . Положительные значения  $m$  определяются уравнением  $i+\beta(m)=m$ . В частности, при  $\beta=1$  получаем  $m = i + 1$ , и подстановка  $\beta=1$  снова дает кинетическое уравнение (3). Если же  $\beta(j)=j$  (т.е.  $i$ -мер и  $j$ -мер просто соединяются в  $(i+j)$ -мер), то в силу симметрии ядра коагуляции  $K_{i,j}=K_{j,i}$ , мы оканчиваемся, приходим к уравнению Смолуховского (1)!

Итак, можно сказать, что существует “коагуляционный треугольник”, вершины которого изображают предельные случаи  $\alpha=\beta=1$ ,  $\alpha=j$  и  $\beta=j$ , отвечающие коагуляционным моделям (3), (4) и (1) соответственно. Две его “стороны” сформированы промежуточными моделями при  $1 \leq \alpha(j) \leq j$  и  $1 \leq \beta(j) \leq j$  (рис.3). Следовательно, изменения параметров  $\alpha$  и  $\beta$  от 1 до  $j$  связывают приведенные коагуляционные модели — три вершины “треугольника”.

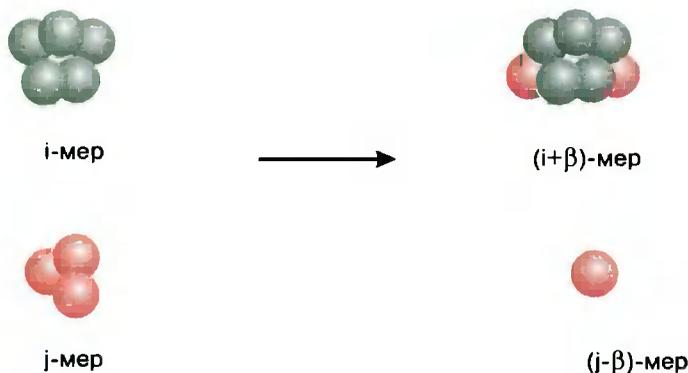


Рис.2. Другой вариант столкновения. Большой  $i$ -мер “откусывает” часть меньшей частицы и присоединяет эту часть к себе.

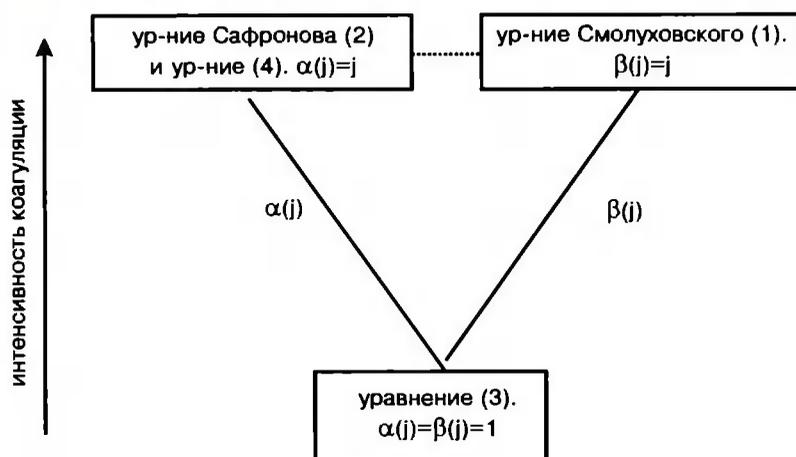


Рис.3. "Треугольник" моделей коагуляции.

## Гель-переход и фронт коагуляции

Как мы убедились, элементарные процессы взаимодействия частиц нагляднее моделировать дискретно. Однако некоторые физические аспекты поведения дисперсных систем удобнее рассматривать в рамках моделей непрерывных. В качестве примера приведем одну из таких проблем — установление экстремальных для процесса коагуляции моментов времени. Как мы уже отмечали, закон сохранения массы математически получается умножением правых частей кинетического уравнения на  $i$  и последующим суммированием (для непрерывных уравнений — интегрированием), что приводит к взаимному уничтожению всех слагаемых. Однако нулевой баланс необязательно будет достигнут, если двойные суммы станут расходящимися. Действительно, обнаружится неопределенность вида  $\infty - \infty$ , и нет оснований ожидать, что в результате получится ноль. Например, для систем, описываемых яд-

ром  $K_{ij}=i \cdot j$ , этот эффект проявляется начиная с некоторого момента времени, после которого плотность коагулирующей фазы начинает уменьшаться. Такой критический момент времени носит название гель-точки, или гель-перехода, поскольку как раз в этот момент в коллоидных и полимерных растворах возникает гель (желе) из исходного золя. Подобным образом происходит выпадение творога при кипячении прокисшего молока, в результате чего масса дисперсной системы уменьшается за счет ухода из нее образовавшегося геля (желе, творога...). Для некоторых ядер коагуляции на основании уравнения Смолуховского ранее делались оценки критического времени, однако было неясно, существует ли гель-переход для других важных физико-химических процессов, а если существует, то как оценить момент этого перехода. Нам удалось проследить критическое поведение на модели с упрощенным начальным распределением и связать возникновение гель-перехода с моментом ухода на бесконечность так

называемого фронта коагуляции<sup>1</sup>.

Пусть начальное распределение частиц имеет прямоугольную форму:  $c(x,0) > 0$  при  $0 \leq x \leq x_0$  и  $c(x,0) = 0$  при  $x > x_0$ . Если рассматривать уравнение Смолуховского, то оказывается, что за любое сколь угодно малое время  $t > 0$  концентрация частиц  $c(x,t)$  со сколь угодно большими массами (сколь угодно большими  $x > x_0$ ) становится отличной от нуля. Таким образом, имеет место эффект мгновенного "размывания" начального распределения, что, разумеется, не соответствует физической сущности процесса, поскольку на самом деле в системе частицы со все большей массой возникают лишь постепенно. Подобным же недостатком, как известно, обладает и классическое уравнение теплопроводности  $u_t = u_{xx}$ . Однако уравнение Сафронова уже позволяет определить коагуляционный фронт, т.е. границу  $x$ , разделяющую в момент времени  $t$  области ненулевых и нулевых значений концентрации. Оказывается, задает эту границу характеристическое уравнение (для уравнения Сафронова), и его решение (характеристическая кривая) с началом в точке  $x_0$  разделяет плоскость  $(t,x)$  на две части так, что  $c(x,t) \equiv 0$ , если точка  $(x,t)$  находится справа от характеристики (рис.4). Это обстоятельство позволяет рассчитать процесс распространения фронта коагуляции для многих ядер. Как мы уже говорили, уход фронта коагуляции на бесконечность за ограниченное время (т.е. вероятное появление в системе, начиная с некоторого момента времени, частиц со сколь угодно большой массой) следует интерпретировать как гель-пе-

<sup>1</sup> Dubovski P. B. // J. Phys. A: Math. 1999. Gen. 32. №5. P.781–793; Дубовский П. Б. // ЖЭТФ. 1999. Т.116. №2(8). С.717–730.

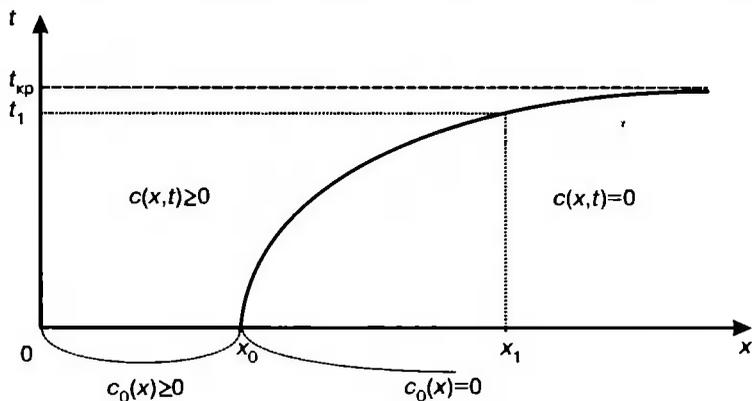


Рис.4. Распространение фронта коагуляции в дисперсной системе. В момент времени  $t$ , в системе можно обнаружить частицы с массами вплоть до  $x_1$ . Если при некотором значении  $t_{кр}$  к кривой можно провести горизонтальную асимптоту (показана штрихом) — значит, в этот момент времени происходит гель-переход.

реход. С помощью такого подхода удалось, в частности, установить, что среди ядер коагуляции, допускающих возникновение гель-перехода, могут быть и ядра, отвечающие низкой интенсивности коагуляции частиц с примерно равными массами. Все ранее известные ядра, для которых было доказано нарушение закона сохранения массы, соответствовали наиболее интенсивному слиянию почти одинаковых частиц<sup>4</sup>.

Итак, мы получили два однопараметрических семейства новых коагуляционных моделей. Если в одном из них параметр ( $\alpha$ ) примет свое максимальное значение ( $\alpha = f$ ), мы придем к новому дискретному уравнению коагуляции (4). Но оказывается, что его непрерывная версия является ранее известной коагуляционной моделью Сафронова (2). В другом семействе ( $\beta = f$ ) максимальное значение соответствующего параметра приво-

дит нас к классическому уравнению Смолуховского (1). При минимальных значениях обоих параметров ( $\alpha = \beta = f$ ) мы получаем новое дискретное кинетическое уравнение (3). Можно сказать, что эти три модели формируют “треугольник”, который связывает две ранее известные коагуляционные модели (Смолуховского и Сафронова), отвечающие его вершинам, путем изменения параметров.

Дискретные модели хороши своей простотой, облегчающей и теоретический анализ, и численную обработку. Но непрерывные модели, более уместные в ряде физических важных случаев, позволяют не только извлечь много полезной информации, но и аналитически изучить критическое поведение, например — оценить момент возникновения структурной неустойчивости дисперсной системы.

**Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Проект 99-01-00336. ■**

<sup>4</sup>Близкие вопросы рассматривались также: Галкин В. А. // Метеорология и гидрология. 1983. №12. С.11—19.

Впервые в практике океанологических работ полярные исследователи ФРГ стали использовать крупные плавучие льдины и айсберги Антарктики для изучения динамики течений. Недавно вертолет научно-исследовательского судна ФРГ “Полярштерн” высадил группу полярников на столовый айсберг, верхняя площадка которого имеет размер поля для игры в американский футбол и выступает над водой на 40 м. Они поместили в снежный покров на поверхности айсберга радиопередатчик, заключенный в водозащитную оболочку. Периодически передаваемые им радиосигналы принимает спутник. Предполагается, что информация будет поступать примерно на протяжении года.

Antarctic. 1999. V.17. №1. P.19 (Новая Зеландия).

Специалисты ВМФ США при поисках авиалайнера швейцарской авиакомпании “Swissair” (“SAS”), упавшего летом 1999 г. в Атлантический океан, применили новый сонар с исключительно высокой разрешающей способностью. Этот уникальный гидроакустический эхолотер прекрасно себя зарекомендовал и в память о происшедшей трагедии был назван “SAS”.

Интерес к возможностям сонара находить и идентифицировать подводные объекты проявили морские биологи. С помощью этого прибора они рассчитывают обнаружить представителей фауны, обитающих не только на поверхности дна, но и зарывающихся в рыхлые осадки.

Terre sauvage. 2000. №146. P.17 (Франция).

# Лекторий Эндотелий — "эндокринное дерево"



О.А.Гомазков

## Историческая преамбула

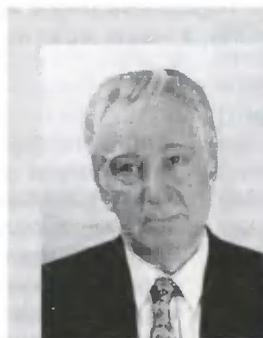
Вот интересно, откуда Шекспир знал это?

*И влил в притвор моих ушей настой,  
Чье действие в таком раздоре с кровью,  
Что мигом обегает, словно ртуть,  
Все внутренние переходы тела,  
Створаживая кровь, как молоко,  
С которым каплю уксуса смешали.*

"Гамлет". Акт первый. Сцена пятая

Борис Пастернак в переводе почти не уклоняется от шекспировского текста. В тайне убийства Гамлета-отца на удивление похоже отражены знания физиологии той эпохи. Еще нет великой книги Уильяма Гарвея "Анатомическое исследование о движении сердца и крови", где описано, как "кровь кружит в теле". Еще нет знаний о процессах ее свертывания, но хорошо известны свойства растительных ядов и, в частности белены, которой был отравлен король. Уже сожжен на костре инквизиции богослов и врач Мигуэль Сервет, открывший легочное кровообращение. «Жизненный дух берет свое начало в левом сердечном желудочке, при этом <...> путь крови вовсе не пролегает через перегородку сердца, как принято думать, а чрезвычайно искусным образом гонится другим путем из правого сердечного желудочка в легкие», — писал он в книге "Восстановление христианства...", стоившей ему жизни.

В 1592 г. швейцарец Гаспар Бахин опубликовал свой труд "*Theatrum Anatomicum*", где представлены картинки "полипа из сердца"<sup>1</sup>. Говоря современным языком, то были тромбиновые "слепки" полостей сердца и коронарных сосудов умершего человека, возникающие из "за-



*Олег Александрович Гомазков, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института биомедицинской химии РАН. Действительный член Международной академии наук (Российская секция). Специалист в области физиологии и биохимии нейропептидов. Автор четырех монографий, а также двух научно-художественных книг.*

<sup>1</sup> Die Chronik der Medizin / Red. H.Schott. Dortmund. 1993.

стывшей” крови. Эти экзотические образования, похожие на пучок корней диковинного растения, точь-в-точь соответствовали внутреннему устройству сердца и питающих его венечных артерий. Их форма отражала структуру “внутреннего тела” кровеносной системы — эндотелия, слоя клеток, выстилающего внутреннюю поверхность кровеносных и лимфатических сосудов, а также полостей сердца.

## Зримое чудо

«С каждым днем занимаясь вскрытиями со все большим усердием, я с особой тщательностью изучал строение и функцию легких... При прямом падающем свете на поверхности легких в распущенном состоянии заметна чудесная сеть, которая кажется тесно связанной с отдельными пузырьками... Я придерживаюсь мнения, что вся масса крови, непрерывно текущая по венам и артериям и состоящая из маленьких частиц, составлена из двух весьма сходных между собой жидкостей — беловатой, которая обычно называется сывороткой, и красноватой...» — так Марчелло Мальпиги впервые в 1661 г. описал микроциркуляторную систему легких и красные кровяные тельца.

Мальпиги работал с комбинацией простейших линз (Левенгук еще не изобрел микроскоп); успех достигался интуицией и усердием. Книга, в которой он описал свое открытие, приобрела большую известность; она логически завершала учение Гарвея. Мальпиги избрали почетным членом Английского Королевского научного общества. Однако на родине самого итальянца, в Болонье, его успех встретили враждебно. Однажды к нему явились двое замаскированных коллег в масках, в сопровождении нанятых хулиганов, которые избили 60-летнего профессора и разгромили его дом. Так своеобразно решалась тогда проблема “внешнего отзыва” и “черного рецензента”.

Ныне увидеть “зримое чудо” совсем несложно. На предметном столике бифокального микроскопа с разрешением в 800—1000 раз распластает орошаемый физиологическим раствором препарат легких или брыжеечной ткани, пронизанный кровеносными микрососудами; сфокусируем и увидим в принципе то, что впервые рассмотрел Мальпиги, однако усиленное современной техникой и знаниями о системе микроциркуляции.

Крупные сосуды — артерии и вены, — разветвляясь, переходят во все более мелкие, постепенно превращаясь в ажурную сеть артериол, венул, капилляров, насыщающих каждый орган. Здесь происходят жизненно важные процессы обмена газов и продуктов питания организма. Средний диаметр капилляра чело-

века 6—10 мкм, его длина около 750 мкм. Суммарное поперечное сечение капиллярного русла в 700 раз превышает сечение аорты, через которую кровь выбрасывается из сердца. Общая площадь сети капилляров составляет 1000 м<sup>2</sup>. Но если учесть, что в обмене также участвуют пре- и посткапиллярные сосуды, эта величина вырастает вдвое<sup>2</sup>. Вот здесь и разгадываются десятки, быть может, сотни биохимических процессов, связанных с межклеточным обменом — его организацией, регуляцией и реализацией.

Работу микрососудов можно сравнить с микроциркуляторным маятником, обеспечивающим периодические задержки и промывки кровотока. В состоянии покоя функционирует не более четверти всех капилляров; при тяжелой физической работе их число увеличивается в 1.5 раза; при воспалении, атеросклерозе, нарушениях гемодинамики — снижается до величин, функционально недостаточных.

Есть еще одна особенность. В процессе жизнедеятельности физиологические системы работают неравномерно. Поел человек, и значительная доля крови направляется к органам пищеварения; занят интенсивной мыслительной деятельностью — мозговые структуры нуждаются в наибольшем снабжении кислородом, питательными веществами, пластическими материалами; выполняет физическую работу — системная гемодинамика и микроциркуляция мышц, сердца, легких обретают статус наибольшего обеспечения. Господствует рациональный физиологический закон: получает в первую очередь тот, кто в этом сейчас более всего нуждается. Старый купеческий принцип: “Всем сестрам — по серьгам!” — для природы неприемлем. В организме действует строгая и целесообразная избирательность, определяемая потребностями работающих систем. И если мы ведем речь о микроциркуляции, в глубинах которой происходят фундаментальные обменные процессы, то организация такой избирательности (т.е. перераспределение зон кровообращения) должна регуляторно обеспечиваться на рубеже кровь—стенка сосуда, где и находится эндотелий — “внутреннее тело” гемодинамики.

## “Maestro of the blood circulation”

Говоря о сосудистой системе, было бы примитивным упрощением иметь в виду только крупные и мелкие пронизывающие тело “трубочки”, которые служат механическим “крово-

<sup>2</sup> Алексеев О. В. Микроциркуляторный гомеостаз // Гомеостаз / Ред. П.Д.Горизонтов. М., 1981. С.419—460.

проводом"... Кровь, за 40—60 с обегаящая все уголки живого тела, помимо эритроцитов, главных носителей кислорода и углекислоты, содержит многие другие компоненты. Тромбоциты, похожие на миниатюрные лепешечки, — клетки, начиненные биологическим материалом, который необходим для "ремонтных работ" в сосудистой стенке. Не соответствуя общей стремительности потока, лениво перекачиваясь по внутренней стенке, движутся лейкоциты. Они выполняют охранную миссию, обладая особой чувствительностью ко всему чужеродному. Здесь же макрофаги, похожие на растрепанные цветочные бутоны, — клетки иммунной защиты. А также системы белков, ферментов, гормонов, низкомолекулярных продуктов — целый сонм биологически активных веществ, синтезируемых или выбрасываемых в кровь из тканей.

Для сохранения равновесия в системе гемодинамики и для поддержания транкапиллярного обмена есть несколько условий, в реализации которых участвуют как химические факторы сосудистой стенки, так и перечисленные клетки крови.

Во-первых, — определенный уровень гидростатического давления в сосуде, без чего невозможны непрерывное движение крови и обменная функция между кровью и тканями.

Во-вторых, — непрерывность кровотока. Спазм сосуда, образование микротромбов, скопление клеток в каком-то участке микроциркуляторного ложа должны устраняться незамедлительно.

В-третьих, — репарация поврежденной сосудистой стенки; включение биохимических и физических механизмов; активация тромбоцитов и фермента тромбина, образование "заплаток" из фибриновых волокон, спазм микрососудов.

Эти условия формулируются как единое правило поддержания равновесия между тонусом сосуда, его физической целостностью и свойствами текущей крови, что некогда было определено как "гемо-васкулярный гомеостаз"<sup>3</sup>. Если свойства крови меняются — увеличивается число микроагрегатов, растет ее вязкость и, следовательно, возникает опасность нарушения транкапиллярной функции — в дело вступают биохимические системы, регулирующие течение транспортируемой жидкости и адаптивные изменения мышечного тонуса сосудов. Так постулировалась нами в 70-х годах роль калликреин-кининовой системы крови.

Наконец (в-четвертых), — регуляция транкапиллярной проницаемости. Существовавшее долгое время представление о пассивной роли

микрососудов в обменных процессах рухнуло под лавиной новых фактов. В словаре нынешних специалистов фигурируют такие понятия как "микровезикуляция", "пиноцитоз", "интерстициальный градиент", "скаффелдинг" (создание строительного каркаса), "ремоделирование мембран" и др. Эндотелий — мономерный слой пограничных клеток между кровью и мышечным слоем сосуда — оказывается важнейшей тканевой структурой, причастной к регуляции и реализации всех перечисленных функций.

В 1945 г. австралийский патолог Г.Флори, работавший в Оксфорде вместе с А.Флеммингом и Э.Чейном, получил Нобелевскую премию за пенициллин. Однако остались малоизвестными его последующие работы по изучению эндотелия. Используя электронную микроскопию, Флори установил, как макромолекулы диффундируют сквозь стенки артерий и вен различных органов. Он впервые обнаружил мембранные микроструктуры эндотелия и межклеточные соединения, участвующие в транспортных процессах; выяснил его роль в образовании атеросклеротических изменений сосудов. Работы Флори послужили основой сегодняшних представлений об эндотелии — ткани, ответственной за сопряжение множества процессов в системе кровообращения. Эти исследования привели к пониманию молекулярных причин патогенеза многих сосудистых заболеваний: атеросклероза, гипертонии, сердечной и почечной недостаточности, отеков. Возникло особое понятие (по сути новая клиническая форма — **эндотелиальные дисфункции**), объединяющее огромный спектр нарушений сердечно-сосудистой системы в целом.

По современным представлениям, эндотелий — не просто барьер или фильтр. Это — активный эндокринный орган, самый большой в теле, диффузно рассеянный по всем тканям. Он синтезирует субстанции, важные для контроля свертывания крови, регуляции тонуса и артериального давления, фильтрационной функции почек, сократительной активности сердца, метаболического обеспечения мозга. Контролирует диффузию воды, ионов, продуктов метаболизма. Реагирует на механическое воздействие текущей жидкости, кровяное давление и ответное напряжение, создаваемое мышечным слоем сосуда. Чувствителен к химическим и анатомическим повреждениям, которые могут приводить к повышенной агрегации и адгезии (прилипанию) циркулирующих клеток, развитию тромбоза, оседанию липидных конгломератов. "Маэстро кровообращения" — так именовал его нобелевский лауреат британский фармаколог Дж.Вейн. (Старинный словарь определяет "маэстро" как по-

<sup>3</sup>Гомазков О. А. // Кардиология. 1973. №7. С.130—144.

четный статус дирижера оркестра или виртуоза-музыканта.)

Попробуем определить четыре уровня, по которым развивается биологическое и медицинское знание.

— **Как устроено?** — Анатомия органа, клетки, молекулярной структуры. Гален и Везалий начинали с исследования человеческого тела, его отдельных частей, соединяемых понятием “система”. Шлейден, Шванн, Вирхов сфокусировали знание на клеточной организации тела. Биохимия XX в. открыла макромолекулы — белки, липиды, нуклеиновые кислоты, составляющие базис живых структур.

— **Как работает?** — Физиология и биохимия. Необходимость понять, как “оно” (так устроенное) функционирует во взаимодействии. Исходно биохимия, на которой зиждется вся молекулярная анатомия живого, именовалась физиологической химией. В итоге, физиология — это философия живого, представление “так устроенного” в объеме взаимосвязей и противоречий.

— **Почему поломалось?** — Патофизиология и патология. В каком звене, в какой структуре произошел сбой? Здесь действуют принципы как частного, так и общего (системного) порядка, поскольку известные законы физиолого-биохимического устройства организма с той же конкретностью и мощью участвуют в сотворении болезни, “зла”.

— **Как исправить?** — Терапия, основанная на знании ключевых звеньев, усилением функции которых или, наоборот, ослаблением можно скорректировать нарушенное равновесие. Вернуть работу органа, системы, цепи биохимических процессов к исходному и функционально необходимому балансу.

## Эндотелий — “эндокринное дерево” (как устроено?)

Эндотелий, по классическому определению гистологов, — однослойный пласт специализированных клеток, выстилающих изнутри все сердечно-сосудистое дерево. Для человека среднего веса — это ткань с общей площадью в шесть теннисных кортов (эдакий “Уимблдон” со всеми запасниками) и весом около 1.8 кг. Один триллион клеток со сложнейшей “биохимической кухней”, включающей системы синтеза белков и низкомолекулярных веществ, рецепторы, ионные каналы.

Эндотелиальное дерево совсем не однородно в своей архитектуре. Его гетерогенность, соответствующая гетерогенности сосудистого ложа, зависит от размера, структуры, биохимической организации, функции данного органа. Эндотелий коронарных сосудов, легочный эн-

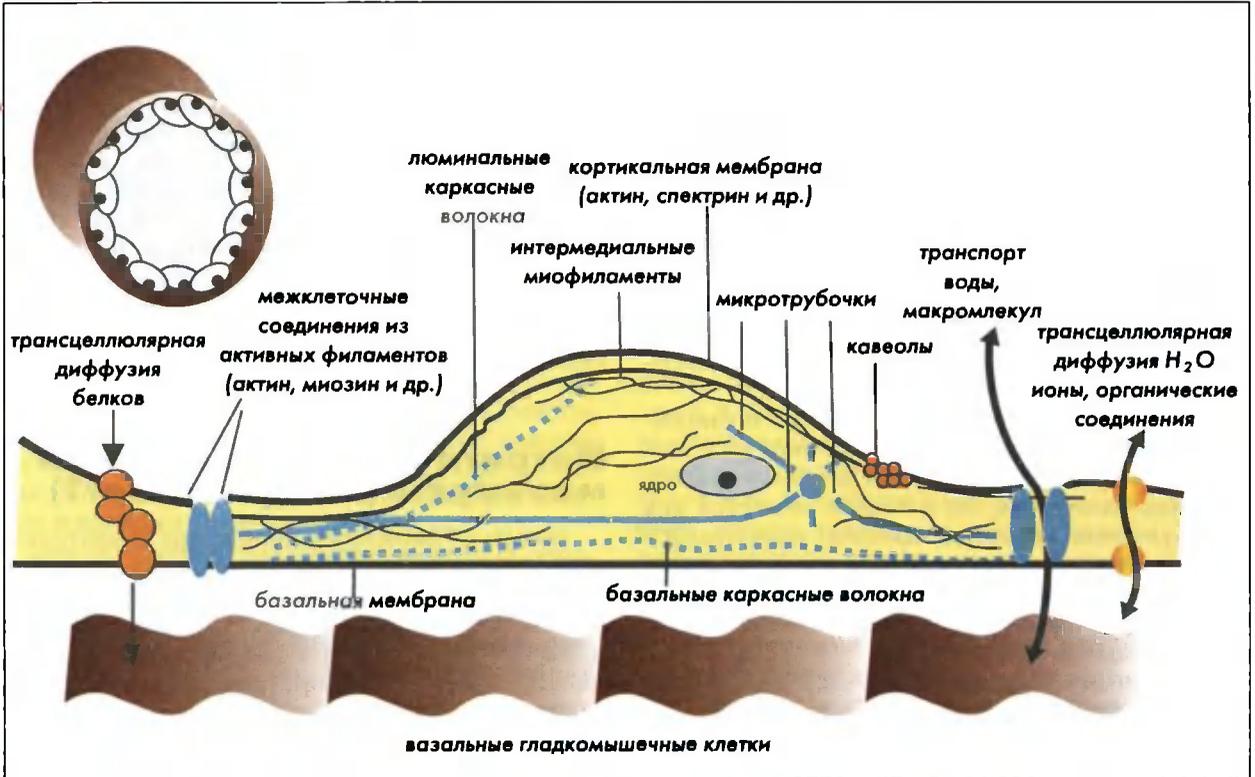
дотелий, церебральный и др., хотя и схожи анатомически, но существенно различаются в генной и биохимической специфичности, типах рецепторов, наборе белков-предшественников, ферментов, трансмиттеров. Соответственно патологические явления также избирательно развиваются в популяциях эндотелиальных и сосудистых клеток: они неодинаково чувствительны к атеросклерозу, ишемическим нарушениям, развитию отека и др. Эти особенности весьма существенны при формировании эндотелиальных дисфункций и других патологий.

## Интриги вокруг маленькой молекулы (как работает?)

Говоря о “биохимической кухне” эндотелия, можно перечислить не менее двух десятков (известных только на сегодняшний день) биологически активных веществ, синтезируемых и высвобождающихся в соответствии с функциональными потребностями. Функции эндотелия складываются как баланс регуляторных субстанций, определяющих целостную работу системы кровообращения (табл.1). Среди них факторы, контролирующие сокращение и расслабление мышц сосудистой стенки (т.е. ее тонус); участвующие в свертывании и фибринолизе (т.е. регуляции жидкого состояния крови и ее взаимодействии с сосудистой стенкой); контролирующие рост клеток (т.е. их восстановление и замещение); регулирующие воспаление (т.е. реакцию на уничтожение и изгнание чужеродного начала).

Оксид азота (NO) среди физиологически значимых молекул — самая простая химическая структура, выполняющая однако роль конечной “инстанции” в ряду многих функций эндотелиальных клеток. Оксид азота присутствует во всех эндотелиальных клетках — независимо от размера и функции сосудов. В покое эндотелий постоянно секретирует определенные количества NO, поддерживая тонус артериальных сосудов. Большинство химических факторов, синтезируемых в эндотелии или циркулирующих с кровью, реализуют свое действие через NO.

Синтез NO усиливается при динамическом напряжении мышечных элементов сосуда, сниженном содержании кислорода в ткани, в ответ на выброс в кровь ацетилхолина, гистамина, норадреналина, брадикинина, АТФ и др. Образующиеся в эндотелии вещества находятся в функциональном равновесии с NO как часть системы обратной связи, поддерживающей статус сосудов в норме. Некоторые из них меняют свои физиологические эффекты на противоположные в сосудах с удаленным эндотелием или



Поперечный срез сосуда (вверху слева) и микроструктура эндотелиальной клетки.

нарушенным синтезом NO. Такие эксперименты моделируют “механику” возникновения атеросклероза, развития коронаростазма или утолщения (гипертрофии) сосудистой стенки.

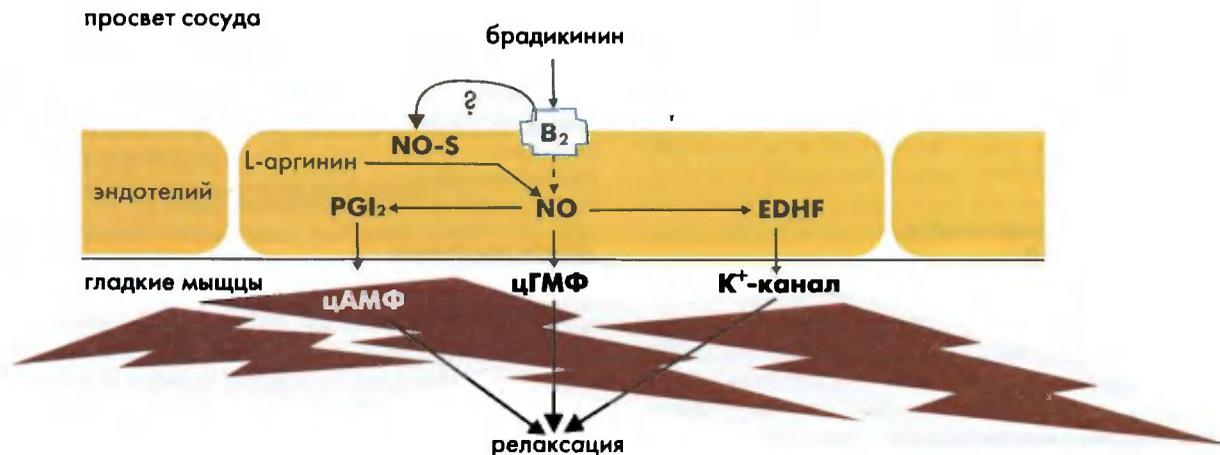
Оксид азота как эндотелиальный фактор расслабления был открыт в 1980 г. Р.Фешготтом и И.Завадски. При изучении релаксирующего эффекта ацетилхолина на артериальных гладких мышцах выявлялась некая эндотелиальная субстанция. Вещество синтезировалось из L-аргинина под действием фермента синтаза азота. Различают три ее изоформы, две из которых обнаружены в нервной ткани и в эндотелии; третья — во многих клетках иного типа (например, в почечных канальцах).

Оксид азота тормозит работу сократительного аппарата сосудистых гладкомышечных элементов; при этом активируется фермент гуанилатциклаза и образуется вторичный (скорее, “третичный”) посредник — циклический 3'-5'-гуанозинмонофосфат. NO препятствует адгезии циркулирующих тромбоцитов и лейкоцитов к эндотелию; эта функция сопряжена с простагландином, который препятствует агрегации и адгезии клеток. Синтез NO и соответственно его активность стимулирует брадикинин — полипептид, который образуется

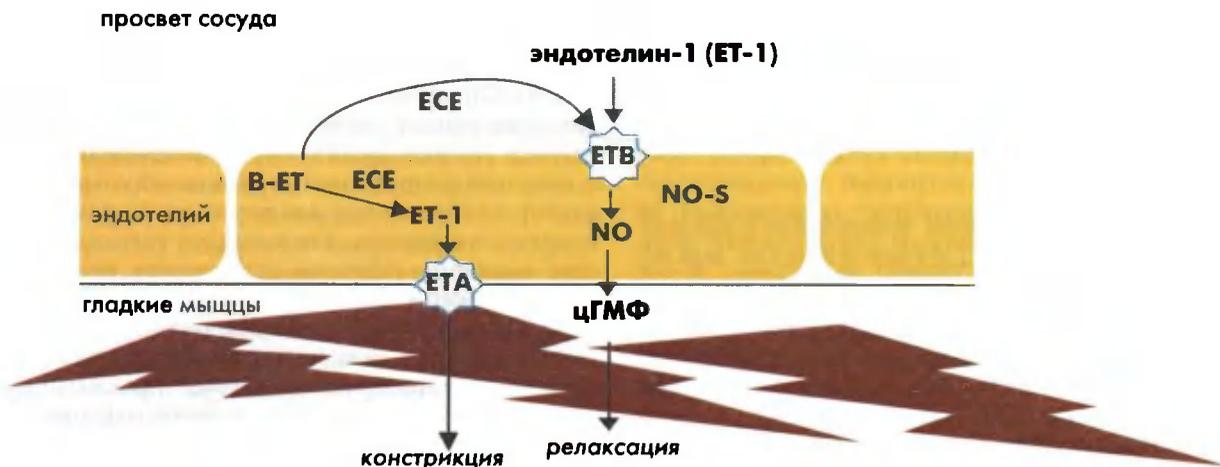
в крови под действием ферментов калликреина и XII фактора свертывания крови. Так, спустя почти 20 лет оказывается фактологически подтвержденной наша идея о роли калликреин-кининовой системы в регуляции **гемоваскулярного гомеостаза** — функционального равновесия реологического статуса крови и тонуса сосудов. Появились новые важные сведения о значении эндотелия и синтезируемых им регуляторных субстанций.

С помощью фармакологических средств выяснилась роль V<sub>2</sub>-кининовых рецепторов, находящихся на поверхности эндотелиальных клеток: их блокада тормозит вызываемое брадикинином расслабление сосудистых клеток (вазодилатацию) и высвобождение NO. Активность другого пептида — ангиотензина II, вызывающего сокращение (констрикцию) артериальных сосудов, угнетает оксид азота. И брадикинин, и ангиотензин II связаны с ангиотензин-превращающим элементом (АПФ)<sup>4</sup>. Сегодня его роль в патологии сердечно-сосудистой системы оценивается весьма высоко: ингибиторы АПФ — одно из самых распространенных средств терапии таких заболеваний.

<sup>4</sup> Ванхутте П. М. // Там же. 1996. №11. С.71—79.



Сопряженность активности брадикинина с сопрягающими факторами.  $B_2$  — кининовый рецептор, PGI<sub>2</sub> — простаглицлин, EDHF — эндотелиальный фактор гиперполяризации, цГМФ — циклический гуанозинмонофосфат, цАМФ — циклический аденозинмонофосфат.



Двойной эффект эндотелия. ECE — эндотелин-превращающий фермент, ETB и ETA — подтипы рецепторов, B-ET — большой предшественник эндотелина, NO-S — синтаза оксида азота.

## Эндотелин: новое имя со старым корнем

В 1988 г. японский исследователь М.Янагасава с коллегами опубликовали в "Nature" статью о новом эндотелиальном пептиде, активно сокращающем сосудистые клетки. Открытый фактор сразу стал предметом интенсивного изучения. Этот пептид, названный **эндотелином**, — сегодня один из самых популярных

в списке биоактивных регуляторов. Только за последние два года ему посвящено 2.5 тыс. публикаций. Такой интерес связан с тем, что, во-первых, эндотелин — вещество с наиболее мощной сосудосуживающей активностью (изменения артериального давления вызываются дозами в  $10^{-12}$ – $10^{-14}$  моля, т.е. одна миллионная часть миллиграмма!); а во-вторых, пептид образуется в самом большом эндокринном органе — эндотелии.

**Таблица 1**  
**Факторы, синтезируемые в эндотелии и регулирующие его функцию**

<b>Факторы сокращения и расслабления сосудистой стенки</b>	
<b>КОНСТРИКТОРЫ</b>	<b>ДИЛАТАТОРЫ</b>
Эндотелин	Оксид азота
Ангиотензин-II	Эндотелин
Тромбоксан (ТХА <sub>2</sub> )	Простаглицлин (PGI <sub>2</sub> )
Простагландин H <sub>2</sub>	Эндотелиновый фактор деполаризации (EDHF)
<b>Факторы гемостаза и антитромбоза</b>	
<b>ПРОТРОМБОГЕННЫЕ</b>	<b>АНТИТРОМБОГЕННЫЕ</b>
Тромбоцитарный ростовой фактор (PDGF)	Оксид азота
Ингибитор активатора плазминогена	Тканевой активатор плазминогена (ТРА)
Фактор Виллебранда (VIII фактор свертывания)	Простаглицлин (PGI <sub>2</sub> )
Ангиотензин-IV	
Эндотелин-1	
<b>Факторы, влияющие на рост сосудов</b>	
<b>СТИМУЛЯТОРЫ</b>	<b>ИНГИБИТОРЫ</b>
Эндотелин-1	Оксид азота
Ангиотензин-II	Простаглицлин (PGI <sub>2</sub> )
Супероксидные радикалы	С-натриуретический пептид
<b>Факторы, влияющие на воспаление</b>	
<b>СТИМУЛЯТОРЫ</b>	<b>ИНГИБИТОРЫ</b>
Фактор некроза опухоли (TNF-alpha)	Оксид азота
Супероксидные радикалы	

Эндотелин — крупная полипептидная молекула: 21 аминокислотный остаток, бициклическая структура, связанная сульфгидрильными мостиками. Его неактивный предшественник — “большой эндотелин”, содержащий 38 аминокислот, от которого специальный фермент “отрезает” собственно эндотелин<sup>5</sup>. В организме присутствуют несколько форм пептида, различающихся небольшими нюансами химического строения, но весьма несхожих по локализации в организме и физиологической активности.

Синтез эндотелина стимулируют тромбин, адреналин, ангиотензин, интерлейкин, клеточные ростовые факторы и др. Создается впечатление высокой сопряженности пептида с регуляторами различного происхождения. В большинстве случаев эндотелин секретируется из эндотелия “внутри”, к мышечным клеткам, где расположены чувствительные к нему ЕТА-рецепторы. Меньшая часть синтезируемого пептида, взаимодействуя с рецепторами ЕТВ-типа, стимулирует синтез NO. Таким образом, один и тот же фактор регулирует две противоположные сосудистые реакции (сокращение и расслабление), реализуемые различными химическими механизмами.

Рецепторы эндотелина, как, впрочем, рецепторы любой биологически активной субстанции — особое устройство управления физиологическим актом, его ключевой механизм. Активный участок, включающий определен-

ный набор аминокислотных остатков, специфически узнает своего “контрагента” (будь то пептид, гормон, медиатор) и после соединения с ним инициирует цепь трансмембранных реакций, необходимых для реализации физиологического эффекта. Для одного и того же вещества выявлены подтипы рецепторов, несхожие по клеточной локализации и запускающие “сигнальные” биохимические реакции. Налицо биологическая закономерность, когда одно и то же средство (тот же пептид, гормон, медиатор) регулирует различные физиологические процессы (табл.2).

Огромный интерес к клиническому исследованию эндотелинов носит подчас эмоциональную тональность и нередко выражается в заголовках научных публикаций типа: “Эндотелин-1: курьез ученых или реальный виновник ишемической болезни сердца?”, “Антагонисты рецептора эндотелина: сердечные препараты будущего?”, “Артериальная стенка: новая фармакологическая и терапевтическая мишень”. Эндотелин рассматривается как маркер и “предсказатель” многих сосудистых патологий. Этот пептид оказывается причастным к: ишемической болезни сердца, острому инфаркту миокарда, нарушениям ритма сердца, атеросклеротическим повреждениям сосудов, специфическим сосудистым нарушениям (рестенозу вследствие коронарной ангиопластики), легочной и системной гипертензии, послеродовым сосудистым осложнениям, почечной патологии васкулярного гломерулонефрита, ишемическим повреждениям мозга (суб-

<sup>5</sup>Гомазков О. А. // Биохимия. 1998. Т.63. №2. С.12—20.

арахноидальной геморрагии), неинфекционным легочным заболеваниям, диабету и др.

## Проблема эндотелиальных дисфункций (почему поломалось?)

Функции эндотелия складываются как баланс противоположно действующих начал: усиление—ослабление сосудистого тонуса, агрегация—деагрегация клеток крови, увеличение—уменьшение числа сосудистых клеток. В каждом случае результат определяется концентрацией синтезируемых веществ, между которыми существуют строгая зависимость и равновесие.

Впрочем, равновесие своеобразное — асимметричное. Это не два плеча одного коромысла. Речь идет о сложном переплетении регулируемых физиологических эффектов. Здесь работает один из главных принципов биохимии и физиологии — организация противостояния, когда контроль **действующего начала** осуществляют, к примеру, ингибиторы ферментов, факторы фибринолиза, возбуждение тормозных нейронов и др.

В сосуде с “нормальным” эндотелием баланс всегда сдвинут в сторону поддержания вазодилатации — готовности противостоять усилению тонуса. Оно и понятно: активное начало определяется созданием напряжения в циркуляторной системе, созданием градиента, благодаря которому происходит обмен в тканях. Тому служит множество веществ, синтезируемых в крови, в эндотелии и в мышечных клетках. Поэтому механизм потребного усиления функции — повышения сосудистого тонуса и проницаемости — двойной: активация факторов “про” и ослабление факторов “контра”. Нередко это делается одним поворотом “двухзубчатого ключа”: ангиотензин-превращающий фермент стимулирует образование ангиотензина II и разрушает его антипод — брадикинин. Пептид эндотелин, действуя через различные подтипы своего рецептора, приводит к сокращению или, наоборот, релаксации мышечных клеток.

Патологии, связанные с дисфункцией эндотелия, есть продолжение его “добродетелей”. Велик и разнообразен список заболеваний, имеющих эндотелий-зависимое происхождение, в значительной мере совпадающий с негативными эффектами пептида эндотелина. Исходная и развивающаяся “механика” этих болезней связана с нарушением дисбаланса эндотелиальных субстанций — нерегламентируемым усилением роли одних и ослаблением “оппозиционной” работы других. Здесь видится важный и совершенно новый подход: понимание болезни как развивающегося дисбаланса химических регуляторов, т.е. нарушения системы противостояния.

Изучение функций эндотелия в нормальном организме и химических факторов его регуляции служат основой для постулирования такого взгляда. В целом, современное понимание патологии эндотелиальных дисфункций можно сформулировать как своеобразную “триаду зла”:

- нарушение равновесия противоположно действующих начал;
- нарушение противостояния в системе регуляторных субстанций;
- возникновение “порочных кругов”, дисбалансирующих функцию клетки, органа, физиологической системы.

## Васкулярная медицина-XXI (как исправить?)

Это самый трудный на сегодня вопрос. Современная терапевтическая стратегия в отношении эндотелиальной патологии направлена на удержание или восстановление равновесия описанных выше факторов. В целом речь идет об ограничении действия одних эндотелиальных факторов, компенсации дефицита других и восстановлении их функционального баланса. Например, нитрат-содержащие препараты компенсируют дефицит эндогенного NO; антагонисты Ca<sup>2+</sup> “сдерживают” активность ангиотензина II и эндотелина в гладких мышцах сосудов, облегчая вазодилататорный эффект NO; ингибиторы ангиотензин-превращающего фермента помимо снижения синтеза ангио-

**Таблица 2**  
Подтипы рецепторов эндотелина-1: локализация, физиологические эффекты и участие вторичных посредников

ПЕПТИД	РЕЦЕПТОР	ТКАНЬ	ЭФФЕКТ	ПОСРЕДНИКИ
ЭНДОТЕЛИН-1	ETA	гладкая мышца сосуда	констрикция	фосфолипаза C
	ETB2	гладкая мышца сосуда	митогенез (пролиферация)	инозитолфосфат, диаглицерол
	ETA	эндотелий	высвобождение NO, PGI2, EDGF	фосфолипазы C, D, A <sub>2</sub>
	ETB1	эндотелий	высвобождение NO и других факторов	аденилат-гуанилатциклазы

**Заболевания, связанные с эндотелиновыми дисфункциями**

атеросклероз,  
 гипертоническая болезнь,  
 коронарная недостаточность, инфаркт миокарда,  
 почечная недостаточность,  
 посттрансплантационная болезнь реперфузии,  
 диабет и инсулиновая резистентность,  
 наследственные и приобретенные нарушения обмена (гиперхолестеролемиа, гиперлипидемиа и др.),  
 эндокринные возрастные нарушения,  
 недыхательные легочные патологии (астма) и др.

тензина II препятствуют разрушению кининов; недавно появившиеся ингибиторы эндотелин-превращающего фермента и антагонисты рецепторов эндотелина-1 тормозят активность пептида. Однако базовое лечение эндотелиальных дисфункций пока отсутствует.

Появилось новое стратегическое понятие — васкулярная медицина. Ее основой служат базовые знания об эндотелии, можем эндокринном органе, и процессах, протекающих в его клетках, которые становятся теперь все более понятными, однако до сих пор не перестают удивлять своей сложностью.

Что делает ребенок с новой игрушкой? Он “изучает” ее, разбирая на палочки, колесики, винтики — интересно, как “оно устроено” — чтобы потом, когда станет взрослым, сделать лучшую.

**Работа выполнена при поддержке РФФИ. Грант 99-04-99322. ■**

Коротко

В середине октября 1999 г. в Париже состоялся colloquium, посвященный распространению и росту числа заболеваний, вызванных потреблением в пищу мяса животных, добываемых африканскими браконьерами. Острота проблемы связана не столько с потреблением людьми мяса “такого сорта” (хотя и это может оказаться опасным), сколько с теми обстоятельствами, при которых было добыто и разделано животное. Оно могло при ловле искушать или серьезно ранить браконьера, а сам он мог получить порезы при разделке туши и таким образом стать носителем патогенных микроорганизмов. Подобные ситуации чаще всего встречаются при браконьерской охоте на обезьян, особенно на шимпанзе. Вполне вероятно, что именно таким путем произошла передача ВИЧ-инфекции человеку. Sciences et avenir. 1999. №634. P.39 (Франция).

Объясняя причину несчастного случая, происшедшего летом 1999 г. на одном из пляжей побережья Тосканы (Италия), когда купающийся в море ребенок неожиданно был укушен в ногу, А.Ринальди (A.Rinaldi), директор Центрального института морских исследований Италии, указывает, что в результате глобального потепления климата температура средиземноморских вод за последние 10 лет поднялась на 2°C и в море проникли ранее не обитавшие виды рыб. Характер раны показывает, что ребенок был укушен крупной тропической рыбой *Pomatomus saltatrix* (ее длина может достигать 1,5 м), которая никогда ранее в Средиземном море не встречалась. Sciences et avenir. 1999. №632. P.68 (Франция).

Зимой 1999 г. мощные волны Северного моря почти полностью смыли песок с пляжа Холмон-Си (Holme-on Sea) на восточном побережье Англии (графство Норфолк). На поверхности выступило 55 прекрасно сохранившихся столбов, некогда сделанных из дубовых стволов. Судя по их расстановке, образующей в плане правильное кольцо с огромным пнем в центре, археологи предполагают, что здесь находилось культовое сооружение. Радиоуглеродная датировка и подсчет годичных колец показали, что деревья были срублены в весенний сезон 2050 или 2049 гг. до н.э. Следовательно, этот “деревянный Стоунхендж” можно считать современником знаменитого каменного Стоунхенджа. Sciences et avenir. 2000. №635. P.12 (Франция).

# Гидротермальные системы океана и жизнь

А.Ю.Леин,

доктор геолого-минералогических наук

Л.И.Москалев,

кандидат биологических наук

Ю.А.Богданов,

доктор геолого-минералогических наук

А.М.Сагалевич,

доктор технических наук

Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН  
Москва

Прошло более ста лет со времени открытия процесса бактериального хемосинтеза<sup>1</sup> и почти четверть века со дня первого визуального наблюдения горячих гидротермальных проявлений с уникальными биологическими сообществами на дне океана<sup>2</sup>. Выяснилось, что рифтовые экосистемы целиком зависят от геотермальной, а не солнечной энергии<sup>3</sup>.

Эти два открытия, разделенные во времени ровно на 90 лет, свидетельствовали об огромной геохимической роли хемоавтолитотрофных (и метанотрофных) микроорганизмов, способных синтезировать органическое вещество, используя углекислоту (и/или метан) в качестве единственного источника углерода, а восстановленные минеральные соединения ( $H_2$ ,  $H_2S$ ,  $S$ ,  $S_2O_4^{2-}$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  и др.) — в качестве источника энергии. В 1984 г. внимание исследователей океана при-

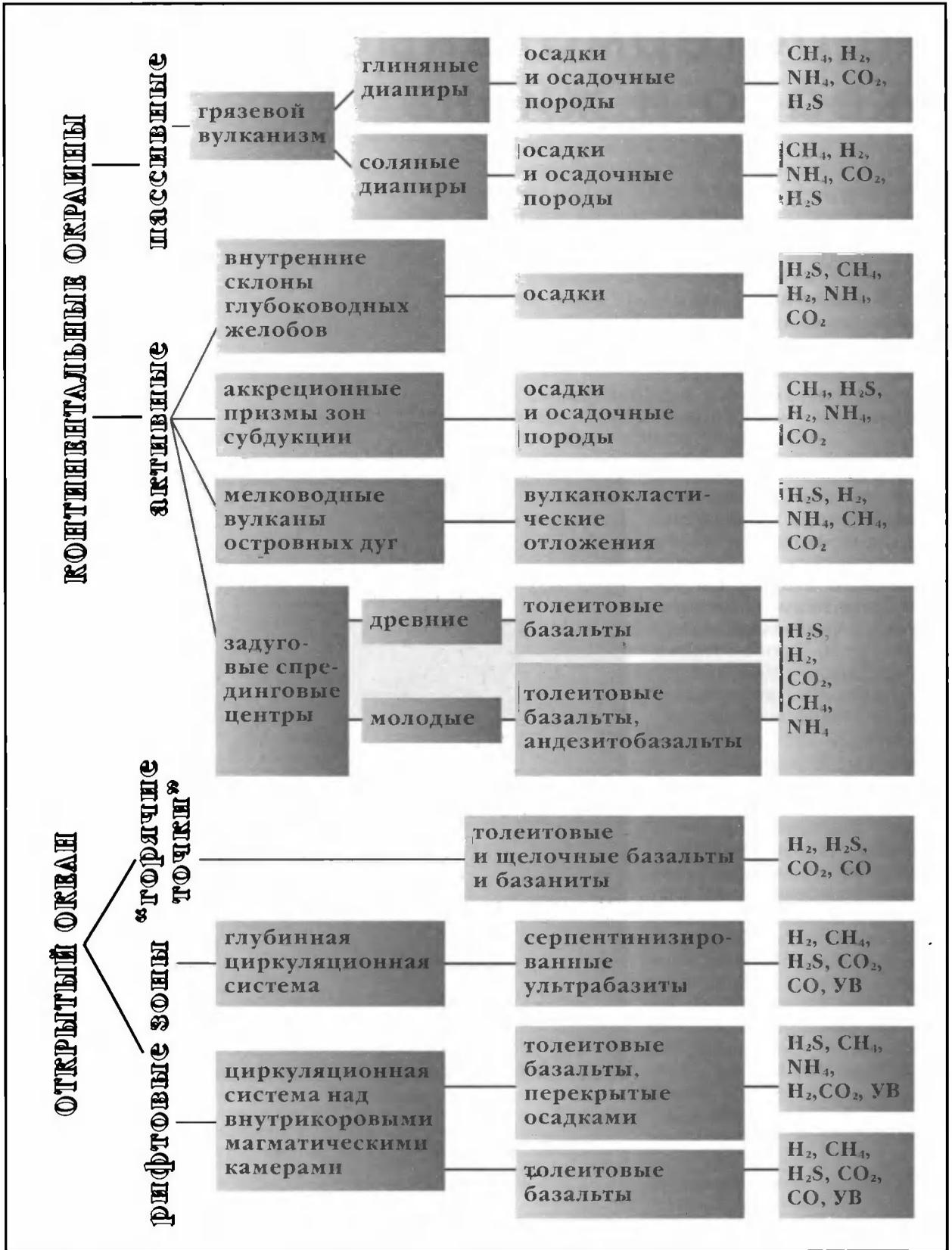


Гидротермальное поле 21°с.ш. ВТП. Вестиментиферы *Riftia pachyptila*, на лавах — сидячие медузы *Lucernaria* sp. Глубина 2600 м.

<sup>1</sup> Vinogradsky S.N. // Botanische Zeitung. 1887. №45. S.489—610.

<sup>2</sup> Lonsdale P. // Deep-Sea Res. 1997. V.24. P.857—863.

<sup>3</sup> Jannasch H.W., Wirsén C.O. // Bio Science. 1979. V.29. P.592—598.



Гидротермальные системы океана и главные компоненты газового состава гидротермальных флюидов.

влекли сходные с рифтовыми биологические сообщества, развивающиеся у выходов метановых (и сероводородных) газовыделений и флюидов на активных и пассивных континентальных окраинах океана и даже во внутренних морях, например в Черном. Поля подобных образований получили название "сипы" (от англ. seep — просачиваться). Позднее было предложено фауну, обитающую вокруг выходов низкотемпературных гидротермальных источников на активных и пассивных континентальных окраинах, называть фауной холодных высачиваний, или сиповой, в отличие от гидротермальной рифтовой фауны, обитающей возле высокотемпературных источников.

В основе пищевых цепей рифтовых и сиповых животных лежит главным образом органическое вещество, синтезированное в процессе бактериального хемосинтеза и метанотрофии. При этом микроорганизмы могут быть свободно живущими, прикрепленными (в виде бактериальных обрастаний и матов), а также эндо- и экзосимбионтами.

Практически одновременно российскими и западными исследователями был открыт третий после фото- и хемосинтеза метанотрофный синтез органического вещества за счет использования углерода метана<sup>4</sup>. Это было неожиданно для большинства геохимиков, морских геологов и биоокеанологов.

Международным сообществом ученых при поддержке правительств ведущих стран мира были начаты беспрецедентные по своим масштабам исследования гидротермальных систем океана. С 1977 по 1999 г. в океане обнаружено

чуть менее 100 активных и множество реликтовых гидротермальных полей.

Сейчас наступает пора осмысления накопленных фактов и их типизации. Предлагаемая читателям "Природы" статья — одна из таких попыток.

Начнем с того, что рассмотрим гидротермальные системы открытого океана и континентальных окраин в составе общей гидротермальной системы Мирового океана.

**Открытый океан.** Гидротермальная циркуляция морской воды через изверженные породы океанической коры в "горячих точках", рифтовых зонах срединно-океанических хребтов и в задуговых спрединговых центрах приводит к физической, химической и биологической эволюции коры и океанов. В этом процессе преобладает адвективный перенос<sup>5</sup> масс вещества, растворов и тепла между глубинными слоями земной коры (а в некоторых случаях даже верхней мантии) и гидросферой.

В предлагаемой классификации в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов выделяются две циркуляционные системы — над внутрикоровыми магматическими камерами и глубинная. Последняя открыта лишь после исследований на глубоководных аппаратах "Мир" в Атлантике, на гидротермальном поле Логачев (1995 и 1998 гг.). Флюиды глубинной циркуляционной системы отличаются от обычных относительно высоким содержанием  $\text{CH}_4$ , его гомологов и нефтяных углеводородов.

**Континентальные окраины.** Глобальный процесс разгрузки термальных вод происходит также на актив-

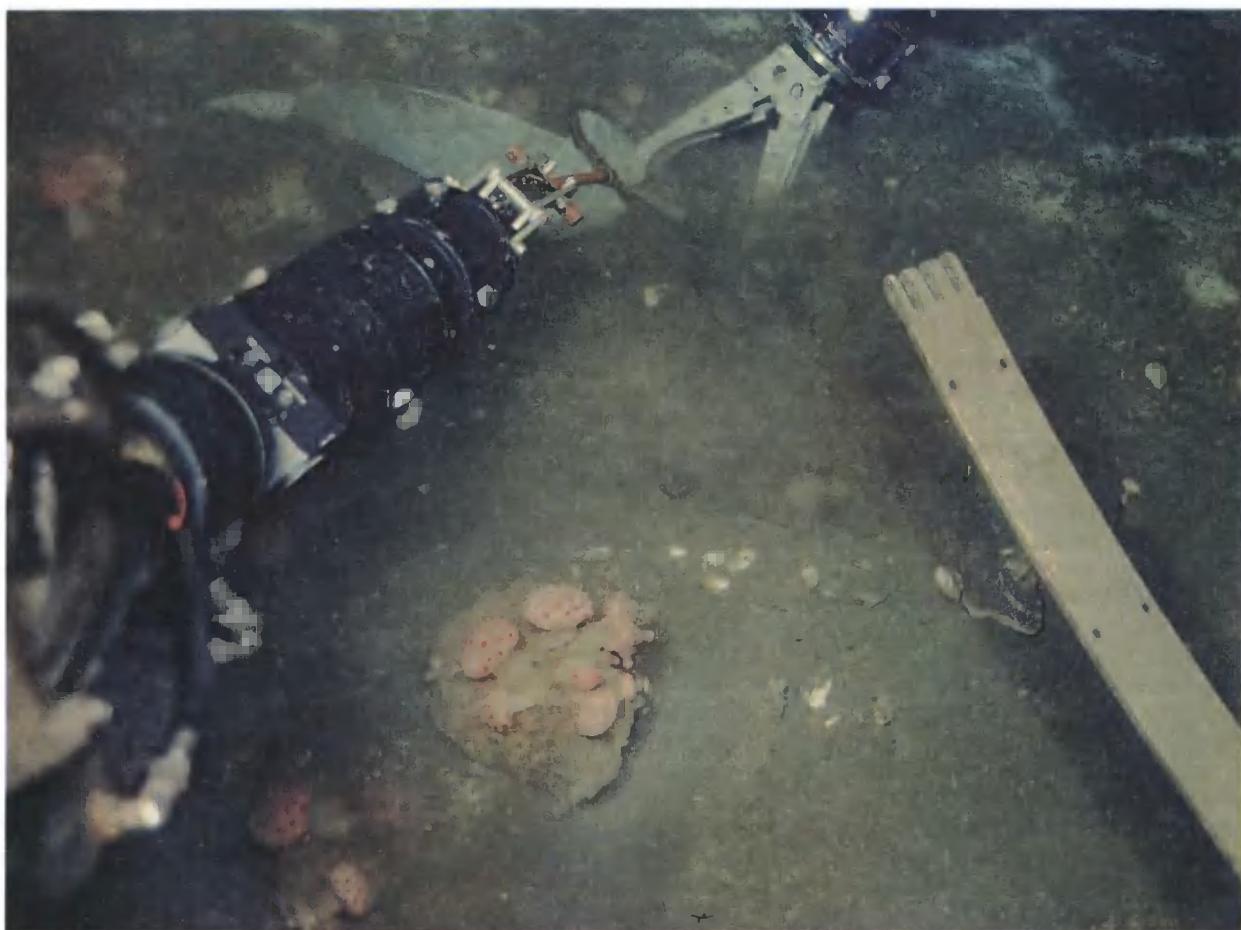
ных и пассивных континентальных окраинах океана. В одних случаях флюиды активных окраин формируются в задуговых спрединговых центрах и в мелководных вулканах, где этот процесс связан с различными изверженными породами или с вулканокластическими отложениями. Состав такого флюида несколько отличается от состава гидротермальных растворов открытого океана, но и в тех и других преобладают соединения серы ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  и др.).

Вторая группа флюидов активных окраин океана рождается в осадочных толщах зон субдукции и на внутренних склонах глубоководных желобов под действием различных геологических факторов. В составе флюидов из аккреционных призм зон субдукции присутствует значительно больше  $\text{CH}_4$ , чем во флюидах других гидротермальных систем активных континентальных окраин.

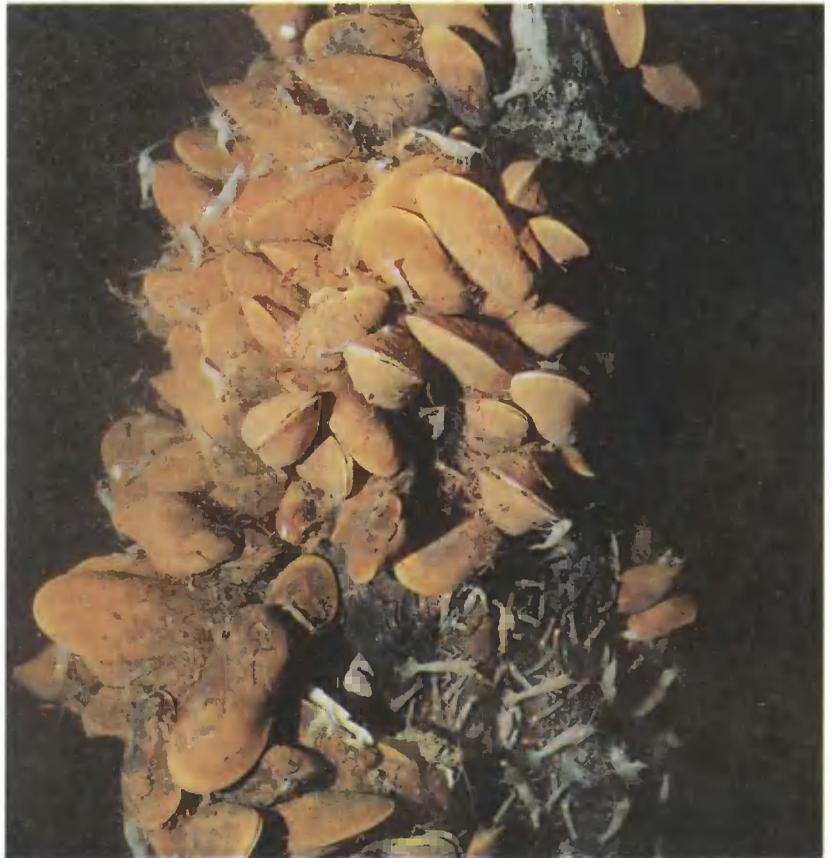
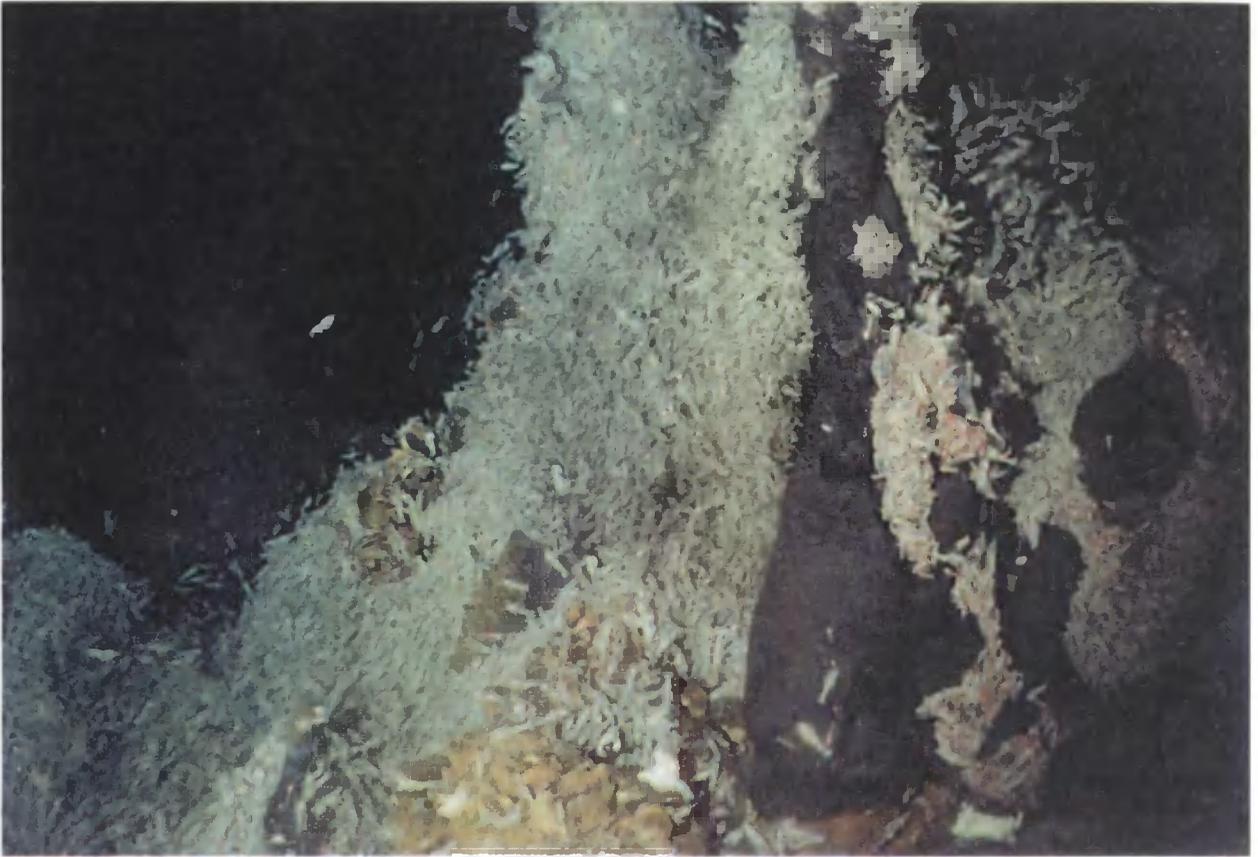
Преимущественно метановые флюиды формируются также в гидротермальных системах пассивных континентальных окраин, связанных с грязевым вулканизмом и расположенных в районах лавинной седиментации в океане. Флюиды в этом случае образуются при смешении морской воды и метаморфизованных вод погробенных осадков, содержащих восстановленные соединения, и в первую очередь  $\text{CH}_4$  и различные углеводороды, которые, как правило, возникают в результате высокотемпературного синтеза из захороненного в осадках органического вещества планктонного происхождения. Заключившая описание нашей классификации, важно подчеркнуть еще раз, что в открытом океане и в задуговых спрединговых центрах флюиды обогащены  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$  и металлами. Температура этих растворов превышает  $360^\circ\text{C}$ .

<sup>4</sup> Гальченко В.Ф., Галкин С.В., Леин А.Ю. и др. // Океанология. 1988. Т.28. С.1020.

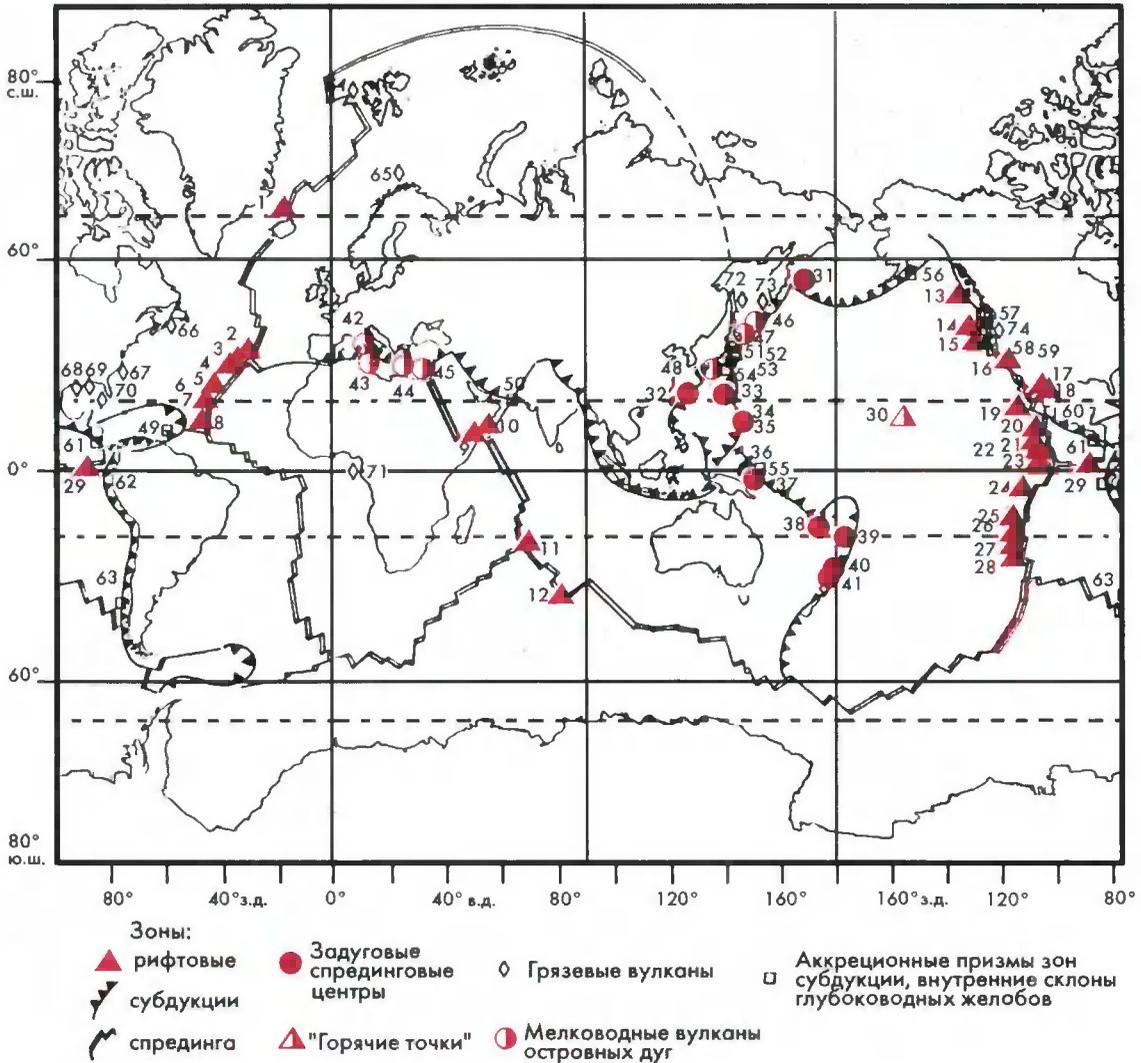
<sup>5</sup> Перенос вещества из глубины к поверхности в результате тектонического горизонтального смещения масс океанической коры вдоль срединно-океанических хребтов.



Подводный вулкан Пуйпу (Берингово море). Вверху — карбонатная гидротермальная постройка высотой около 30 см на южной вершине. Глубина 447 м. Внизу — отбор проб с помощью сачка и манипуляторов глубоководного обитаемого аппарата "Мир". Хорошо различимы грибовидные колонии мягких кораллов *Anthomastus* sp. и раковины симбиотрофных двустворчатых моллюсков *Calymene* sp. Глубина 489 м.



Гидротермальное поле Логачев (Срединно-Атлантический хребет). Глубина около 3000 м. Вверху — креветки *Rimicaris exoculata* у подножия черного курильщика. Внизу — симбиотрофные мидии *Bathymodiolus* aff. *puteoserpentis*, креветки *R. exoculata* (крупные) и *Mirocaris keldyschi* (мелкие).



Размещение биологических сообществ на активных гидротермальных полях в Мировом океане. Числами обозначены районы гидротермальных проявлений: в открытом океане — рифтовые зоны (1–29), горячие точки (30); на активных континентальных окраинах — задуговые спрединговые центры (31–41), мелководные вулканы островных дуг (42–48), аккреционные призмы зон субдукции и внутренние склоны глубоководных желобов (49–63); на пассивных континентальных окраинах — грязевые вулканы (64–74).

1 — хребет Кольбенсей, 2 — Менез-Гвен, 3 — Лахи-Страйк, 4 — Рейнбоу, 5 — Брокен-Спур, 6 — ТАГ (Трансатлантический геотраверс), 7 — Снейк-Пит, 8 — Логачев, 9 — Аденский залив, 10 — рифт Таджура, 11 — тройственная точка Родригес, 12 — плато Амстердам-Св.Павел, 13 — хребет Эксплорер, 14 — хребет Хуан-де-Фука, 15 — хребет Горда, 16 — п-ов Палос Вердес, 17 — бассейн Гуаймас, 18 — Сонорский край бассейна Гуаймас, 19–28 ВТП (Восточно-Тихоокеанское поднятие): 19 — 21°с.ш., 20 — 13°с.ш., 21 — 11°с.ш., 22 — 9° — 10°с.ш., 23 — 4°с.ш., 24 — 7°ю.ш., 25 — 17° — 19°ю.ш., 26 — 21° — 22°ю.ш., 27 — 23°ю.ш., 28 — 26°ю.ш., 29 — Галапагосский спрединговый центр, 30 — вулкан Лоухи, 31 — вулкан Пийпа, 32 — трог Охинава, 33 — трог Огасавара, 34 — Марианский трог, 35 — банка Эсмеральда, 36 — бассейн Манус, 37 — о.Новая Британия, залив Бленч, бухта Матупи, 38 — бассейн Северное Фиджи, 39 — бассейн Лау, 40 — кальдера Братерс-Арх, 41 — юг дуги Кермадек, 42 — мыс Палинуро, 43 — мыс Мессина и о.Вулькано, 44 — о.Милос, бухта Палеохори, 45 — Восточное средиземноморье, вершина дома Наполи, 46 — о.Янкича, бухта Крастерная, 47 — о.Кунашир, Горячий Пляж, 48 — о.Кюсю, залив Кагосима, 49 — аккреционная призма о.Барбодос, 50 — аккреционная призма Макран, 51 — о.Хонсю, залив Сагами, 52 — Японский и Курильский желоба, 53 — аккреционная призма Нанкай, 54 — каньон Тенриу, восточная часть трога Нанкай, 55 — гора Эдисон, 56 — Алеутский желоб, 57 — Орегонская аккреционная призма, 58 — разлом Сан-Клементе, 59 — залив Монтерей, 60 — мексиканская часть Центрально-Американского желоба, 61 — Коста-Риканская аккреционная призма Центрально-Американского желоба, 62 — Северная часть Перуанского желоба, 63 — центральная часть Чилийского желоба, 64 — хребет Вестнеса, 65 — Хаахон Мосби, 66 — Лаврентийский веер, 67 — континентальный склон Северной Каролины, 68 — каньон Аламинос Мексиканского залива, 69 — континентальный склон Луизианы, Мексиканский залив, 70 — Флоридский эскарп, 71 — Гвинейский залив, 72 — бассейн Дерюгина, 73 — о.Парамушир, 74 — континентальный шельф Северной Калифорнии.

На дне континентальных окраин, в гидротермальных системах, связанных с осадочными отложениями, температура флюидов на выходе колеблется в пределах 0,01–50°C, редко достигая 100°C. В составе этих растворов преобладает  $\text{CH}_4$  и его гомологи, присутствуют  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_4$ . Содержание металлов незначительно.

Рассмотренная классификация гидротермальных систем и закономерное распределение связанных с ними главных компонентов газового состава флюидов важны для оценки роли "первичной" и "вторичной" бактериальной продукции в океане.

Процессы хемосинтеза и метанотрофии с образованием **первичной** бактериальной продукции происходят у выходов флюидов в "горячих точках", рифтовых зонах и в задуговых спрединговых центрах за счет энергии окисления восстановленных эндогенных соединений. В процессах **вторичного** бактериального синтеза органического вещества участвуют восстановленные соединения, поступающие из осадочных пород и возникающие в процессе преобразования захороненного в этих породах органического вещества **планктонного** генезиса. В течение 1986–1999 гг. (с перерывами) определялись величины первичной бактериальной продукции на активных гидротермальных полях рифтовых зон Тихого океана (гора Осева, хребет Хуан-де-Фука); во впадине Гуаймас (Калифорнийский залив), бассейнах Манус и Лау (задуговой спрединговый центр Юго-Западной Пацифики) и на четырех полях в рифтовых зонах Атлантического океана (районы 14°45'с.ш., 26°с.ш., 29°с.ш., 36°с.ш.).

Пробы для исследования отбирали с помощью подводных обитаемых аппаратов "Пайсис-4 и -11", глубоковод-

ных обитаемых аппаратов "Мир-1 и -2" и комплекса "Rozett".

На различных индивидуальных полях величина первичной бактериальной продукции варьировала<sup>6</sup> от 20 до 300 мг  $\text{Схм}^{-2}\times\text{сут}^{-1}$ , составляя в среднем около 150 мг  $\text{Схм}^{-2}\times\text{сут}^{-1}$ .

Величина вторичной бактериальной продукции реально измерена в районе метанового сипа грязевого вулкана Хаакон Мосби в Норвежском море и составила более 10 мг  $\text{Схм}^{-2}\times\text{сут}^{-1}$ . В среднем примерно 23% от количества окисленного  $\text{CH}_4$  приходится на вторичную бактериальную продукцию. С учетом площади активного сипа было рассчитано<sup>7</sup>, что вне поверхности дна кальдеры грязевого вулкана окисляется более 100 тыс. м<sup>3</sup>  $\text{CH}_4$  в год.

Бактериальная продукция на дне океана представляет собой дополнительное органическое вещество, количество которого сопоставимо или даже превышает количество планктонного органического вещества, достигшего дна. Добавим, что весь этот материал "свежий", не прошедший деструкционных преобразований в водной толще.

Рассуждения о малых площадях, занимаемых гидротермальными полями, и о "несущественном" вкладе первичной бактериальной продукции в общий баланс органического вещества в океане верны только в общих чертах. Не следует забывать, что протяженность срединно-океанических хребтов составляет 60–65 тыс. км, а их площадь соизмерима с общей площадью всех материков. Непрерывно осуществляемая, по крайней мере последние

200 млн лет, разгрузка эндогенных флюидов на такой территории и развитие вокруг этих источников биологических сообществ дают весьма существенный вклад в накопление автохтонного органического вещества в открытом океане. Другая зона развития гидротерм — континентальные окраины — имеет протяженность около 350 тыс. км. Иными словами, области, где сконцентрированы гидротермальные системы, охватывают примерно 1/3 площади дна Мирового океана<sup>8</sup>.

Масштабность процессов бактериального синтеза органического вещества в океане можно проиллюстрировать картой-схемой, на которую нанесены практически все известные на сегодняшний день активные гидротермальные поля в Мировом океане. Читатели "Природы" первыми увидят эту сводку глобального распространения современных оазисов жизни на дне океанов.

Схема распределения рифтовой и сиповой фауны в таком объеме с привязкой к гидротермальным системам океана составлена впервые. Каждому значку на карте соответствует географическое название района. Советские, а затем российские научные экспедиции проводили исследования на 20 активных полях.

Проводившиеся 23 года исследования гидротермальной фауны позволили установить, что число относящихся к ней видов многоклеточных животных приближается к 500. Подавляющее большинство из них относится к пяти основным типам: членистоногим (35%), моллюскам (34%), кольчатым червям (23%), кишечнорастворимым (3%) и погонофорам (3%).

<sup>6</sup> Леин А.Ю., Гальченко В.Ф., Пименов Н.В., Иванов М.В. // Геохимия. 1993. №2. С.252–268.

<sup>7</sup> Леин А.Ю., Пименов Н.В., Саввичев А.С. и др. // Геохимия. 2000. №3.

<sup>8</sup> Fisher A.T. The Quantitative Hydrogeology of Igneous Oceanic Crust: Properties, Driving Forces, and Fluxes // Complex Conference on Multiple Platform Exploration. Vancouver, 1999. P.112.

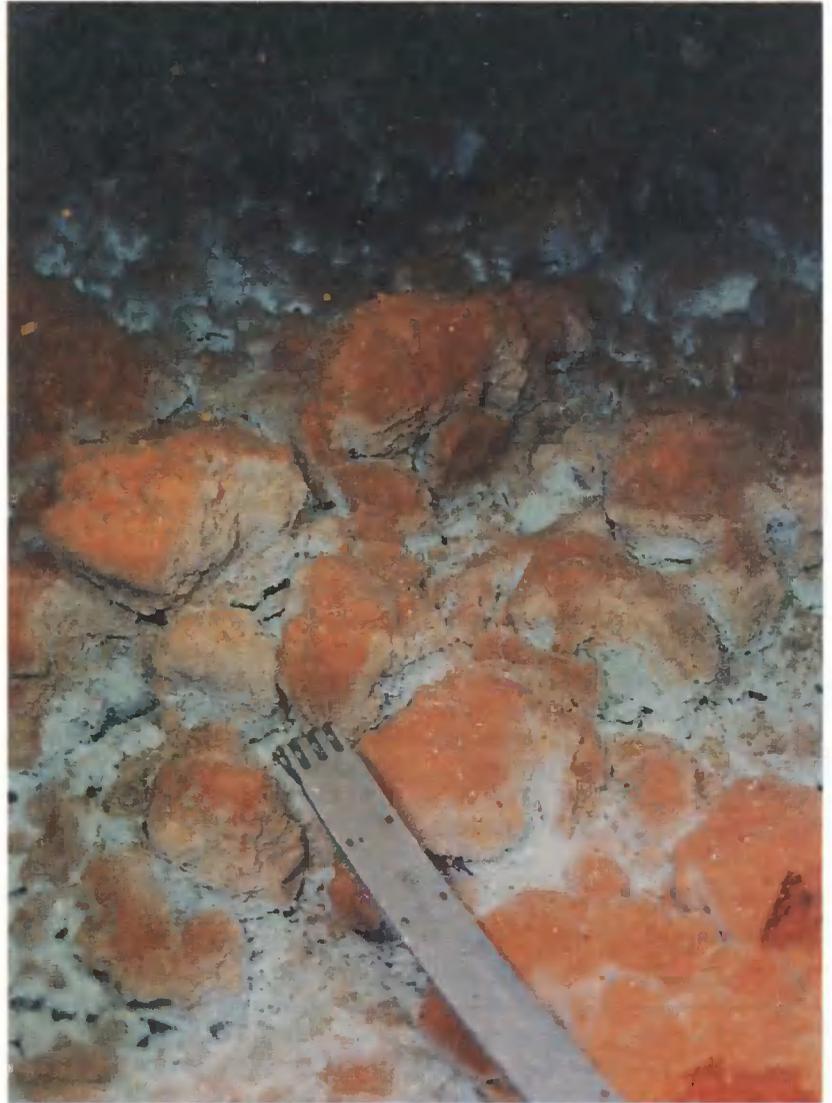


Друзы мидий *Bathymodiolus aff. puteoserpentis* вокруг выхода низкотемпературного гидротермального источника на гидротермальном поле Логачев. Глубина 3000 м.



Периферия кальдеры грязевого вулкана Хаакон Мосби (Норвежское море). Погонофоры *Sclerolimit sp.* и свернувшаяся кольцом рыба *Lucodes squatiniventer*. Глубина 1270 м.

*Железистые бактериальные маты гидротермального поля Пеле на подводном вулкане Лоухи (Гавайские о-ва) Глубина 980 м. В результате сейсмической активности в 1996 г. поле было разрушено.*



Высочайшая концентрация биомассы рифтовых и сиповых сообществ, превышающая 50 кг на 1 м<sup>2</sup>, не свойственна обычным сообществам животных океанского дна. Почти все виды, обитающие на активных гидротермальных полях (~95%), характерны лишь для зон гидротермалей Мирового океана. Из 207 родов облигатны 47%, из 141 семейства — 18%.

В рифтовых сообществах зарегистрировано вдвое больше видов (475), чем в сиповых (211), хотя доля симбиотроф-

" Симбиотрофным принято называть особый тип питания животных за счет жизнедеятельности бактерий внутри или на поверхности тканей животных.

но питающихся<sup>9</sup> приблизительно одинакова (около трети).

Имеющиеся к настоящему времени материалы по гидротермальным системам в корне изменили представление о природе Мирового океана в целом, и в частности об источниках органического вещества в нем. Можно сказать, что со времени открытий, сделанных на научно-исследовательском судне "Челенджер", океанология не обогащалась за столь короткий срок таким количеством неоспоримых фактов. Полученные в последнее время данные доказывают, что глобальный вынос флюидов из недр Земли активно происходит не только на су-

ше, но и на огромной площади в океане.

Обнаружение многочисленных современных активных, а позднее реликтовых гидротермальных полей на дне океана привело к смене концепции "океан стока" на концепцию "активный океан". Одна из главных особенностей активного океана — биологическая жизнь на сероводороде и метане. Жизнь, открытая не в лабораторных пробирках, а в масштабе планеты Земля.

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Гранты 00-05-64082 и 00-04-48056. ■**

# Островные виды карликового мамонта

Е.Н.Мащенко,  
кандидат биологических наук  
Палеонтологический институт РАН  
Москва

На конференции, посвященной 200-летию изучения мамонта<sup>1</sup> (Роттердам, май 1999 г.), особое внимание привлекли доклады об островных популяциях его карликовых форм: чрезвычайно быстрые, происходящие всего за несколько тысяч лет изменения островных популяций как бы моделируют в небольшом масштабе эволюционные процессы, на которые в континентальных условиях природа затрачивает многие тысячелетия.

Можно с уверенностью утверждать, что на сегодняшний

день одним из самых полно сохранившихся скелетов карликового мамонта и единственным в мире полным скелетом карликового слона остается скелет с о.Санта-Роза (о-ва Чаннел). Эта удивительная находка<sup>2</sup> была сделана геологами Университета Сан-Диего (Калифорния) в 1994 г. Остров Санта-Роза отделен 30-километровым проливом от калифорнийского побережья Санта-Барбары. Остатки слонов, относимых к виду колумбийских мамонтов (*Mammuthus columbi*), хорошо известны с территории Калифорнии и других штатов. Они были

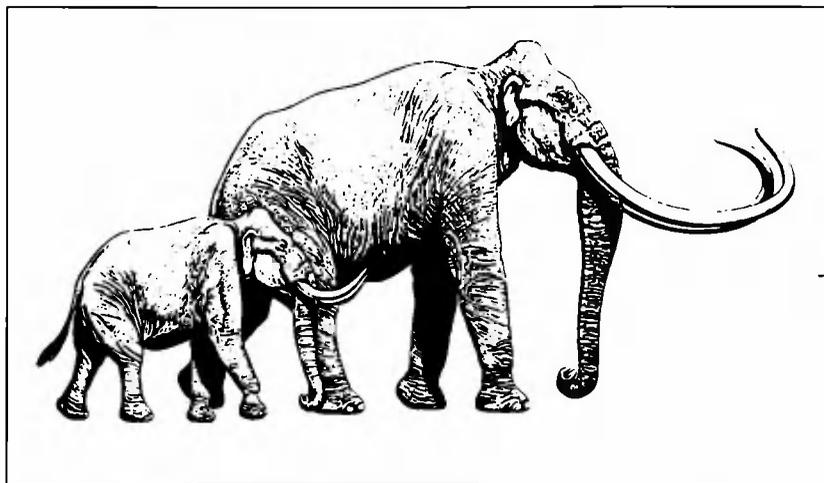
распространены в период последнего оледенения, в позднем плейстоцене (50—11 тыс. лет назад). Животные континентальной формы этого вида достигают в высоту 4 м. Изолированные кости очень мелких мамонтов (высотой от 1.5 до 2.5 м) были обнаружены только на о-вах Чаннел. Их изучение началось после образования здесь национального парка. Свое научное описание карликовые мамонты получили в 1928 г. и были названы *Mammuthus exilis*.

Геологические исследования показывают, что в плейстоцене, несмотря на то, что уровень океана был почти на 100 м ниже современного, о-ва Чаннел представляли собой один большой остров, который постоянно был отделен от материка узким проливом. Датировки найденных на островах костей по <sup>14</sup>C показали, что предки карликовых мамонтов проникли сюда более 40 тыс. лет назад. Ученые предполагают, что через 2—3-километровый пролив на остров переплыли именно колумбийские мамонты обычного для континентальной популяции размера. За время обитания на острове они измельчали и вымерли около 11 тыс. лет назад, когда потепление в Северном полушарии вызвало подъем уровня океана и около 80% пригодной для их обитания площади оказалось затопленной, а некогда единый остров превратился в архипелаг из нескольких более мелких островов.

Скелет самца мамонта, о котором сказано в начале заметки, был найден в террасе, постоянно разрушаемой морем. Древние песчаные отложения, образуя несколько уступов, обрываются в море. Угро-

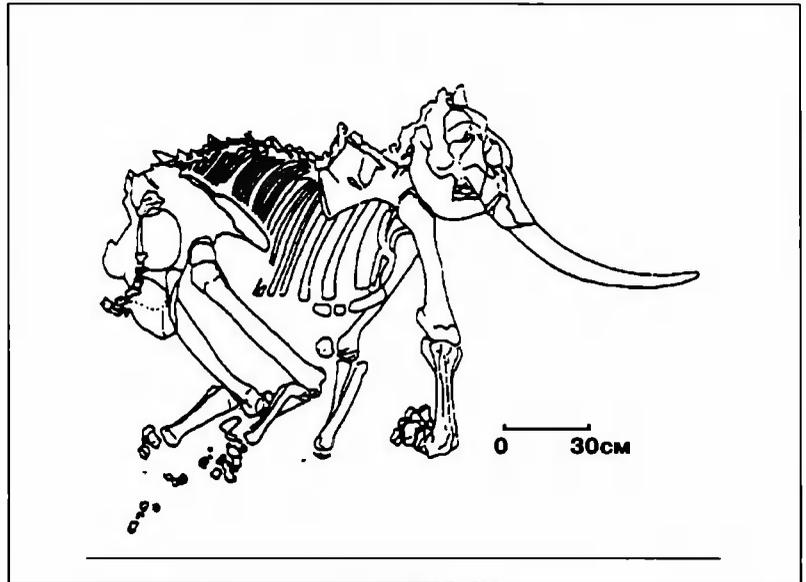
<sup>1</sup> Мащенко Е.Н. К 200-летию изучения мамонта // Природа. 1999. №10. С.118.

<sup>2</sup> Наиболее полную публикацию об этом см.: Agenbroad L.D. et al. // Deinsea. 1999. №6. P.89—117.



Сравнение размеров колумбийского мамонта (*Mammuthus columbi*) из континентальной популяции и карликового мамонта с о.Санта-Роза (*Mammuthus exilis*). Высота самца островной формы не превышала 2 м, а у вида с материка была около 4 м. Видимо, *M.columbi*, распространенные на территории Калифорнии, были лишены шерстяного покрова или имели его в очень редуцированном виде (как это и показал на авторской реконструкции Carl Buell).

Сочлененные в естественном положении кости скелета карликового мамонта из местонахождения на обрыве о.Санта-Роза. Разрушение затронуло лишь мозговую часть черепа и немногие позвонки.



за разрушения скелета в штормовой период обусловила необходимость раскопок, и в довольно короткий срок (9—19 августа 1994 г.) специалисты из Университета Северной Аризоны Л.Агенброд и Дж.Мид (руководители раскопок известного крупного местонахождения мамонтов в Хот-Спрингсе, Южная Дакота) извлекли на 95% сохранившийся скелет. Лишь небольшое число костей (включая правый бивень) было смещено. Абсолютный возраст находки, определенный по коллагену из бедренной кости — 12 840 лет. На скелете имеются следы травмы, которые позволяют предположить, что, лишенное возможности двигаться, животное легло на левый бок, после чего вскоре наступила смерть. Труп достаточно быстро был погребен песчаной дюной, и это сохраняло его в неприкосновенности до момента, когда ветер и море обнажили скелет.

Трудно переоценить значение этой находки для науки. Блок с породой, включавшей скелет, был с огромной осторожностью перемещен с помощью вертолета на специальное судно. Конечная цель транспортировки — препаратная лаборатория Музея "Местонахождение Хот-Спрингс", где была проведена окончательная расчистка и консервация скелета.

Карликовость вообще и карликовость у хоботных, переселившихся с материка на острова, хорошо известна палеонтологам. В конце прошлого века были описаны карликовые, ростом меньше 1 м, слоны *Elephas namadicus* и *E.falconeri* с о-вов Сицилия, Мальта, Милос и др. Известны карликовые слоны рода *Stegodon* (*S.trigoncephalus*) и *Elephas* (*E.beyeri*) с о-вов Ява и Суматра. Все эти виды хоботных жили в конце плейстоцена и вымерли по окончании этого периода. Около 10 лет назад была открыта популяция мелких мамонтов на о.Врангеля<sup>1</sup>. Они жили за полярным кругом и, видимо, относятся к особому подвиду вида *Mammuthus primigenius*, широко распространенному в конце ледниковой эпохи в Евразии, причем популяция мелких врангелевских мамонтов пережила конец оледенения и существовала еще 5—7 тыс. лет назад.

Мельчание островных видов (особенно крупных животных) — хорошо известное биологическое явление. Оно вызвано ограниченностью пищевых ресурсов на островах и отсутствием опасных хищников. Преимущество при

этом получают мелкие особи, у которых размножение начинается в более ранние периоды жизни, когда процесс роста еще не закончился. За достаточно короткий срок (несколько тысячелетий) даже такие крупные животные, как слоны, становятся на 50—70% меньше по размерам, чем виды материковых популяций. Аналогичные причины вызвали измельчание мамонтов и на о.Санта-Роза.

Датировки показывают, что карликовые мамонты вымерли на о-вах Чаннел до того, видимо, как древнейшие племена охотников и собирателей стали проникать на архипелаг. Это позволило ученым сделать вывод о том, что их вымирание было вызвано естественными причинами, а не истреблением человеком. Многие вопросы, связанные с экологией и численностью этой популяции карликовых мамонтов, остаются нерешенными, поскольку большая часть свидетельств их жизни оказалась под водой. Впрочем, палеонтологи рассчитывают сделать на островах у калифорнийского побережья новые открытия. А уже найденный уникальный скелет карликового мамонта наверняка после завершения его тщательного изучения приоткроет некоторые неизвестные стороны биологии этих древних слонов. ■

<sup>1</sup> Vartanyan S.L., Garutt V.E., Sher A.V. // Nature. 1993. V.362. P.337—340.

# Гадюка

В.И.Булавинцев,

кандидат биологических наук

Институт проблем экологии и эволюции животных им.А.Н.Северцова РАН  
Москва

Долгая, мучительно нудная зима кончалась трудно. Ее гибель обозначилась сначала высокой голубишной февральского неба с брачными криками воронов, а позже, в марте, дождями, пополам со снегом, расквашившими до безобразия поля и проселки.

Еще холодными, порой морозными вечерами запели первые овсянки в очередь

с редкими одиночными скворцами. Апрельское солнце согрело и подсушило бугры и косогоры, разбудив от зимнего оцепенения пауков-волков, серых разбойников, пестромимом снующих в прошлогодней листве и травяной ветоши.

К концу апреля заметно потеплело, как-то сразу дружно запели птицы. Вспыхнули по мокрым опушкам леса и речным поймам золотисто-желтые костры цве-

тущих ив. На бархатисто-маатовой зелени сочных стеблей и листьев открылись солнцу сиренево-розовые гроздья медуницы. Споря в красоте с цветами, ожили бабочки.

Лес, еще прозрачный, но уже жадно пьющий весенние соки земли, напоенный солнечным плеском, чутко замер в зыбком кружеве полутеней в ожидании чуда рождения первой листвы.

Напоенное солнцем небо, многоголосье весеннего леса

© В.И.Булавинцев



Зимнее логово гадюки.

Здесь и далее фото автора

оставались там, вверху. В логове змей было еще по-зимнему прохладно и покойно. Но весеннее тепло уже угадывалось и здесь. Изредка со свода подземного убежища, проросшего корнями деревьев и кустарников, сыпалась подсыхающая земля, покрывая дно пещерки и лежащих в ней бесчувственно-холодных, полукоченевших рептилий тонким слоем сухого праха.

Мест, подходящих для змеиной зимовки, не так уж много в заболоченных лесах. Сползаются гады с лесных опушек, болот, вырубок, пойменных лугов. Из года в год тянутся черные, серые да коричневые ручейки-змейки к родным буграм, высоким местам, в облюбованные еще их предками — десятки, а то и сотни лет назад — гнезда. В зимовальном логове, где-нибудь на краю заболоченной вырубке, под высоким завалом корчеванных полусгнивших пней или в пустотах старых торфяных куч, надежно укрытых снежной периной, теплее, чем снаружи. Ведь опустится температура ниже двух-четырех градусов — и гибель спящих рептилий неминуема.

Тихий сухой шелест и легкое приглушенное шуршанье нарушили слепую тишину мрачного подземного убежища, приютившего несколько десятков змей. Первыми очнулись от оцепенения зимней спячки самцы. Вялые, полуживые твари выползли одна за другой на поверхность к свету, подолгу грелись в лучах щедрого весеннего солнца, медленно возвращаясь к своей легкой жизни.

Врагов у гадюки хоть отбавляй. Заснула на солнцепеке, блаженно распустив кольца тела, не успела почувствовать шаги человека — короткий удар палки по голове или хребтине, много ли надо жалкой, глухой и полуслепой твари. Не упустит случая полакомиться гадюкой ежик. Гибнут



*Цветовые формы гадюки обыкновенной: коричневая, черная и серая.*



*Жук скакун и жужелица. Ими и другими насекомыми кормятся в основном молодые рептилии.*

змеи под копытами скота. Пройдут ли краем болота кабаны — горе гадюке, не успевшей убраться с их дороги, сожрут вместе с потрохами. Беда подстерегает гадюку не только на земле. Аисты, цапли, коршуны, орлы и подорлики — всех не перечислишь. А защита у нее одна — пара слабеньких, как рыбки косточки, ядовитых зубов, убранных, наподобие лезвия перочинного ножика, вдоль нёба. Нанести удар змея может только широко раскрыв пасть, тогда зубы выходят, выпрямляясь, из складок десен. В момент укуса зубы дают я ядовитые железы и выделяющийся яд стекает в ранку по каналам-бороздкам на внутренней стороне зубов.

Укус гадюки очень болезнен и довольно опасен даже для человека. Особенно активны змеи летом, в жаркую погоду, и весной, во время любовных игр, возникающих недели через две после выхода гадюк из зимовальных гнезд.

В пасмурные, прохладные дни змеи вялы, им не хватает тепла для активной жизни.

Наши северные гадюки почти живородящи. Как и у всех змей, зародыши формируются в яйцах, покрытых кожистой оболочкой. Детеныши вылупляются в теле мате-

ри, перед самым выходом яиц наружу. Гадючата рождаются полностью сформированными, размером с обыкновенный карандаш, спустя несколько часов способны активно ползать, ловить насекомых, червей, прятаться, кушаться, но яд их не столь силен, как у взрослых.

Взрослеют гадюки к четырем-пяти годам, самцы первыми, вырастая к этому времени до полуметровой длины. Размножаясь, самки вынашивают до 10—12 детенышей, из которых к следующему году остается меньше половины, а до 10—15 лет, таков срок жизни гадюк, редкая доживает.

Течет живым ручейком змеиное тельце, струится черным бархатом по зеленым мхам, шуршит пожухлой листвой. Здесь лягушонка ухватит, там мышонка устережет. Холодной гадючке больше не надо. На земле гнездо с птенцами или яйцами отыщется — совсем праздник. Проглотит змея добычу нежеванной, со скорлупой и перьями, ляжет в спокойном месте на припеке, осоловевшая от сытости, раздувшись от обильной пищи. Оплывет к земле в полуденном зное, разомлеет, по спине словно сединой тронута. Это бархатисто-черные чешуйки разошлись, а между ними мо-

лочно-серые бороздки нежной кожицы. Отлежится несколько дней в сытом дурмане в тайном своем логове под пнем или в норе, а там голод снова гонит за добычей. Так и тянется змеиная жизнь, от сытости к голоду, от голода к сытости, по кругу, пока солнце не притомится, обленившись к концу лета. Позже подниматься станет, раньше ко сну клониться.

Дольше не сохнут холодные рассветные росы, знобки стали вечерние зори, октябрь на дворе, пора гадюке о покое подумать, на зимовку убираться.

В свой срок отпоют унылые песни вьюги, отгуляют свое шальные метели. Барабанной дробью вертлявых дятлов ослабнут морозы. Ожившим, потеплевшим солнцем прольется на снежные дали небесная высь. Сначала робко, первой капелью, постучится весна и вдруг, набрав силы, запестрит проталинами, забормочет талой водой, пенно да взахлеб — не остановишь. Глядишь, зимы как не бывало. Канули снега в ручьи и речки. Набухла талой водой беременная жизнью земля. Закурчавилась, ошестинилась малахитом первых зародков грядущих зеленых шелков и бархатов. Пора и змеям просыпаться. ■

# Физиология и психология страха

Ю.В.Щербатых, А.Д.Ноздрачев

Страх издавна служил объектом изучения специалистов самых разных отраслей науки — философов, социологов, психологов, психиатров, физиологов и т.д., каждый из которых по-своему представлял этот феномен человеческой психики. Некоторые философы (например, С.Кьеркегор) видели в нем некую экзистенциальную силу, определяющую эволюцию человеческой души; социологи и политологи поныне рассматривают подобные эмоции как средство манипулирования человеческими массами; психологи обращают внимание на защитную функцию страха, способствующую выживанию индивидуума в экстремальных условиях; психиатры воспринимают его как некую болезнь, от которой нужно избавиться пациента, а для физиологов наиболее интересны механизмы формирования этой эмоции в головном мозге и пути ее реализации. С одной стороны, такой “многомерный” подход помогает выйти за рамки какой-то одной науки и увидеть проблему в целом, а с другой, из-за все усиливающегося разобщения научных направлений, затрудняет создание единой концепции страха. Мы



*Юрий Викторович Щербатых, кандидат медицинских наук, заместитель руководителя Центра экспериментальной медицины и безопасности жизнедеятельности (Воронежское отделение). Основные научные интересы связаны с психофизиологией.*



*Александр Данилович Ноздрачев академик, заведующий кафедрой общей физиологии Санкт-Петербургского государственного университета. Область научных интересов — общая физиология и физиология вегетативной нервной системы. Неоднократно печатался в “Природе”.*

© Ю.В.Щербатых, А.Д.Ноздрачев

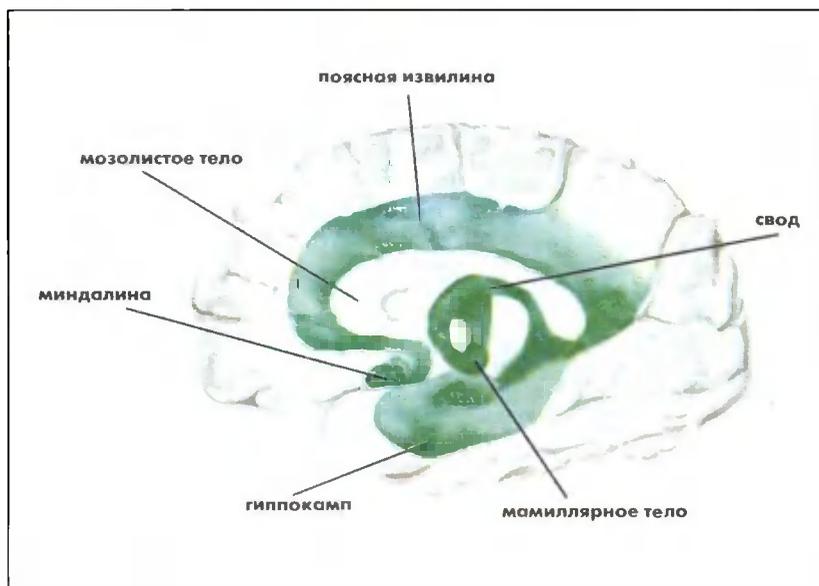


Схема строения лимбической системы человека.

попытаемся свести воедино имеющиеся к настоящему времени взгляды различных специалистов на природу страха, механизмы его формирования и значение этого феномена в человеческом обществе.

Поскольку страх — это древнейшая эмоция, повышающая шансы организма на выживание, то и мозговые структуры, ответственные за нее, находятся в более старых, центральных областях головного мозга — так называемой лимбической системе, к которой относятся гиппокамп, миндалины, грушевидная доля и еще несколько мозговых структур. Первоначально считалось, что в нервной системе имеется один центр, активация которого вызывает страх и реакцию избегания пугающего объекта. Впоследствии американский исследователь Х.Дель в опытах на обезьянах показал, что в головном мозге имеются две отдельные структуры, одна из которых запускает реакцию страха, а другая — бегства.

Этологи часто изучают страх в ситуации “открытого поля”, где сталкиваются страх перед неизведанным прост-

ранством и потребность его освоения. Американские физиологи Ч.Корман и Р.Майер выяснили, что у крыс разрушение перегородки мозга усиливает страх перед “открытым полем” и снижает двигательную активность, а удаление миндалевидного комплекса приводит к прямо противоположному результату. Считается, что миндалины участвуют в выборе поведения путем “взвешивания” различных эмоций, порожденных конкурирующими потребностями, например — страха и чувства долга, страха и стыда и пр. Отечественный нейрофизиолог В.М.Смирнов подтвердил значение миндалин в возникновении эмоций у человека. Он обнаружил, что воздействие слабым электрическим током на один отдел мозга вызывает у пациентов растерянность и недоумение, раздражение другого участка — необъяснимый страх, а раздражение третьего — немотивированную радость. Исследование американских нейрофизиологов дает основание предполагать, что чувство страха формируется в основном в правом полушарии моз-

га. Например, демонстрация фильмов в правом и левом поле зрения показала, что правое полушарие преимущественно связано с оценкой неприятного, ужасного, а левое — приятного и смешного.

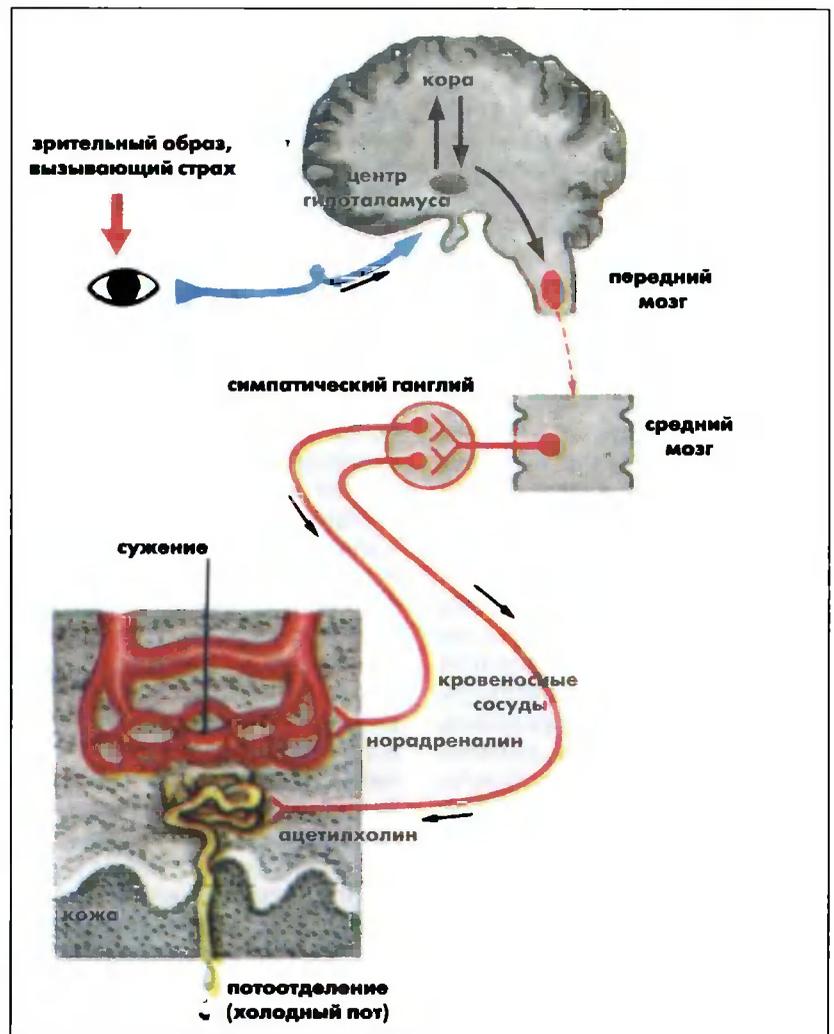
При поверхностном взгляде страх несет малоприятное ощущение — он вызывает огорчения, сковывает активность и даже может приводить к психосоматическим заболеваниям. Однако первоначально эта эмоция возникла в процессе эволюции как защита организма от всевозможных опасностей первобытной жизни. Позже, когда человек построил вокруг себя новую среду обитания (как техногенную, так и социальную), реакция страха во многих случаях перестала быть адекватной обстоятельствам. Согласно мнению антропологов, формирование *Homo sapiens* закончилось примерно 40—50 тыс. лет назад. Описывая предков человека, И.П.Павлов писал: «Их нервная деятельность выражалась в совершенно определенных деловых отношениях с внешней природой, с другими животными и всегда выражалась в работе мускульной системы. Им приходилось либо бежать от врага, либо бороться с ним»<sup>1</sup>. Поэтому неудивительно, что в результате естественного отбора страх стал запускать в организме человека вполне определенные реакции, способствующие в первую очередь улучшению кровоснабжения мышц и мобилизации энергетических ресурсов организма.

С этой точки зрения становится понятной эволюционно закрепленная в наших реакциях положительная роль страха для организма. Во-первых, страх мобилизует силы человека для активной деятельности, что зачастую бывает необходимо в критической ситуа-

<sup>1</sup> Павлов И. П. // Вестн. РАН. 1999. Т.69. №1. С.59.

ции. Это происходит за счет выброса адреналина в кровь, что улучшает снабжение мышц кислородом и питательными веществами. Побледнение кожных покровов и холодок “под ложечкой” при испуге относятся к эффектам адреналина: кровь, необходимая в минуту опасности мышцам, отливает от кожи и желудка<sup>2</sup>. Все остальные реакции, сопровождающие страх у человека и животных, также были изначально полезны: волосы, встававшие дыбом от ужаса на голове, должны были напугать потенциального врага, а так называемая медвежья болезнь уменьшала вес организма и сбивала с толку агрессора.

Во-вторых, страх помогает лучше запоминать опасные или неприятные события. Изучение воспоминаний раннего детства позволило психологу П.Блонскому утверждать, что особенно хорошо запоминается то, что вызывает страдание и страх, а боль и страдание чаще всего воспроизводятся именно как страх. Анализируя этот феномен, В.К.Вилюнас писал: «Нетрудно видеть целесообразность воспроизведения боли и страдания в виде страха. Страх в отношении предметов, доставивших боль, полезен тем, что побуждает в будущем к избеганию этих предметов; переживание же при этом на основе памяти еще и самой боли просто лишало бы активность избегания всякого смысла»<sup>3</sup>. Н.К.Миллер в классических экспериментах показал, что животные не только достаточно быстро обучаются избегать ситуаций, вызывающих у них страх, но в подобных условиях могут воспроизводить комплекс сопутствующих ему вегетативных реакций. В его опытах крысы, находившиеся в белом отсеке, получали удары тока до тех пор, пока не обуча-



Регуляция потоотделения при страхе.

лись открывать дверь в соседний черный отсеk. Через некоторое время, когда животных помещали в “белый” отсеk, они проявляли все признаки страха даже при отсутствии болевого раздражителя. С определенными оговорками можно предположить, что крысам “было страшно” в белом отсеке; по крайней мере налицо были вегетативные признаки данной эмоции. Таким образом, страх — это своеобразное средство познания окружающей действительности, которое помогает индивиду избегать потенциально опасных ситуаций.

И наконец, третья функция страха. Когда информации недостаточно, чтобы принять всесторонне продуманное решение, страх диктует стратегию поведения. Как считает П.В.Симонов, эта эмоция развивается при недостатке сведений, необходимых для защиты индивида от угрозы со стороны биологической или социальной среды. Именно в этом случае целесообразно реагировать на расширенный круг сигналов, чья полезность еще не известна. На первый взгляд, такая реакция избыточна и неэкономна, но зато она предотвращает пропуск действитель-

<sup>2</sup> Ноздрачев А. Д. Физиология вегетативной нервной системы. Л., 1983.  
<sup>3</sup> Вилюнас В. К. Психологические механизмы мотивации человека. М., 1990.

но важного сигнала, игнорирование которого может стоить жизни.

Что же происходит в организме человека, когда его охватывает страх? Прежде всего активируется симпатическая нервная система, мобилизующая энергетические ресурсы и перестраивающая деятельность всех систем органов, подготавливая их к физической деятельностью. Активизация симпатической нервной системы приводит к учащенному сердцебиению (“сердце уходит в пятки”), расширяет зрачки (“у страха глаза велики”), тормозит активность пищеварительных желез (“от страха во рту пересохло”) и т.д. Параллельно включается и эндокринная система, которая в опасных ситуациях выбрасывает в кровь адреналин, или “гормон кролика” (в отличие от похожего на него норадреналина, называемого “гормоном льва”, который выделяется при гневе и ярости). Адреналин сужает сосуды кожи (“лицо посерело от страха”) и в целом действует так же, как и симпатическая нервная система, во многом дублируя ее работу.

Нужды медицины заставили фармакологов, с одной стороны, искать средства, уменьшающие страх и тревогу, а с другой (для изучения механизмов возникновения этих эмоций) — их усиливающие. К наиболее перспективным веществам первой группы относятся производные бензодиазепинов и аналоги гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК), которые демонстрируют избирательное торможение проявлений страха и тревоги. Однако антагонисты ГАМК и бензодиазепинов способны индуцировать страх у экспериментальных животных<sup>4</sup>.

Изучение физиологии и нейрохимии страха позволило лучше понять биологические механизмы поведения человека. Но на его жизнедеятельность накладывается множество социальных и культурных установок, в свете которых генетически запрограммированные инстинкты теряют свое приспособительное значение или даже мешают жить. В этом плане страх, запускающий реакции “борьбы или бегства”, которые хорошо проявили себя в период биологической эволюции, оказывается совершенно неадекватным в современной жизни. Поэтому отрицательное значение страха проявляется значительно шире, чем положительное. Он может держать человека в постоянном напряжении, порождать неуверенность в себе и не позволять личности реализоваться в полную силу. Страх сковывает активность человека, в отдельных случаях буквально парализует его, а хроническое состояние тревоги и страха приводит к различным психосоматическим болезням.

Эти болезненные состояния, возникающие из-за нарушений нормальной работы сознания, лучше всего разобрать на примере кардиофобии — навязчивого страха за свое сердце. Как отмечают клиницисты, преувеличенный или совершенно необоснованный страх за сердце встречается не менее, чем у половины больных, которые испытывают неприятные ощущения в левой половине грудной клетки, достаточно часто сопровождаемые еще и страхом смерти. Более того, эти два неприятных чувства взаимно усиливают друг друга. Такие люди осознают, что по объективным медицинским показателям у них нет серьезных отклонений. Однако они продолжают мнительно прислушиваться к своим ощущениям, фиксировать малейший сердечный диском-

форт, многократно усиливая его при помощи воображения.

Такой частично самовнушенный страх за свою жизнь весьма отличается от сильнеешего безотчетного страха, характерного для пациентов с ишемической болезнью сердца. Истинное нарушение кровоснабжения сердца субъективно воспринимается как надвигающаяся неотвратимая катастрофа, которая сопровождается паническим ужасом. Существует целый ряд специальных тестов, позволяющих отличить психогенные боли в сердце от болей, связанных с нарушением его кровоснабжения. Так, при классической стенокардии состояние больного ухудшается после физической нагрузки, а улучшение наступает через две-три минуты после приема нитроглицерина. При невротических сердечных болях умеренная физическая активность не провоцирует приступа, а реакция на нитроглицерин или явно замедленная, или же неправдоподобно быстрая.

Как ни прискорбно это констатировать, достаточно сильно выраженный страх смерти может стать причиной гибели человека. Поразительный по точности описания рассказ А.П.Чехова “Смерть чиновника” вовсе не гипербола — история медицины знает немало подобных случаев. В медицинской литературе отмечены случаи наступления смерти вполне благополучных кардиологических больных после перевода их из отделения реанимации в общую палату, где непрерывное ожидание сердечного приступа провоцирует его.

Среди людских тревог страх смерти занимает особое место. Это один из самых глобальных и вечных страхов человечества, лежащий в основе многих мировых религий. Издавна смерть была окутана покровом тайны. Даже сейчас, когда мы в общих чертах пред-

<sup>4</sup> Пошивалов В.П. // Успехи соврем. биологии. 1989. Т.108. Вып.2 (5). С.289—298.

ставляем себе физиологию и биохимию этого процесса, все же не любим заглядывать в бездонный колодец, из которого веет холодом безнадежности.

И.И.Мечников в своей работе «Биология и медицина» отмечал, что страх смерти — один из главных признаков, отличающих человека от животных. «Все животные инстинктивно избегают смерти, но не осознают этого. Ребенок, избегающий ее подобным образом, также не имеет никакого представления о неизбежности смерти. Сознание этого приобретает только позднее, благодаря необыкновенному умственному развитию человека». Мечников утверждал, что во все времена страх смерти «составлял одну из величайших забот человека», и осознание неизбежности своего конца не дает в полной мере наслаждаться жизнью многим людям. Решение проблемы он искал в науке, которая могла бы, с одной стороны, удлинить срок жизни человека, а с другой — помочь ему осознать естественность и закономерность умирания, тогда этот процесс перестает вызывать ужас и отчаяние. В конце своей жизни он создал учение об ортобиозе — такой жизни человека, когда на смену активной деятельности приходит спокойная старость, страх смерти исчезает, уступая место чувству пресыщения жизнью и желанию смерти. Однако до этого пока далеко. В реальности мало кто стремится добровольно уйти в небытие, а страх смерти остается актуальным для многих людей самого разного возраста — от «зеленых» юношей до седобородых старцев.

Длительное и настойчивое размышление о смерти производит глубокое впечатление на людей, а его влияние на человека с развитым воображением, художественного склада может вообще оказать решаю-

щее влияние на творчество. Достаточно вспомнить, какое сильнейшее психологическое воздействие произвел на Ф.М.Достоевского эпизод его чудом не состоявшейся казни, во многом определивший в будущем мрачный эмоциональный настрой писателя<sup>5</sup>. Впоследствии Федор Михайлович писал в «Дневнике писателя» за 1873 г.: «Приговор смертной казнью расстрелянием, прочтенный всем нам предварительно, прочтен был вовсе не в шутку: почти все приговоренные были уверены, что он будет исполнен, и вынесен, по крайней мере. Десять ужасных, безмерно страшных минут ожидания смерти».

Действительно, к страху перед пугающей пустотой, ожидающей нас в конце жизненного пути, ведут тысячи дорог, и только очень сильные духом люди могут позволить себе спокойно и мудро рассуждать о смерти. Один из таких мудрецов — римский мыслитель I в. н.э. Луций Сенека. «Жизнь дана нам под условием смерти и сама есть путь к ней, поэтому глупо ее бояться: ведь известного мы заранее ждем, а боимся лишь неведомого. Неизбежность же смерти равна для всех и непобедима. Можно ли пенять на свой удел, если он такой же, как у всех? Равенство есть начало справедливости.<...> Мы не сразу, а постепенно, шаг за шагом, попадаем в руки смерти. Каждый день мы умираем, потому что каждый день отнимает у нас часть жизни, и даже когда мы растем, наша жизнь убывает. Вот мы утратили младенчество, потом детство, потом отрочество. Вплоть до вчерашнего дня все минувшее время погибло, да и нынешний день мы делим со смертью. Как водяные часы делает пустыми не последняя капля, а вся вытекающая вода, так и последний час,

в который мы перестаем существовать, не составляет смерти, а лишь завершает ее: в этот час мы пришли к ней — а шли мы долго»<sup>6</sup>. Впоследствии Луций Сенека на собственном примере доказал, что его стоические взгляды на эту проблему были не просто словами, — достаточно вспомнить, как достойно принял он собственную смерть, на которую обрек его император Нерон.

К счастью, страх смерти, как и другие витальные страхи, основанные на инстинкте самосохранения (страх высоты, грозы, болезней и т.п.), относительно редко беспокоит людей. Зато им досаждают другие опасения, касающиеся не угрожающие непосредственно жизни и здоровью индивидуума. Это так называемые социальные страхи — ответственности, публичных выступлений и т.п. С одной стороны, подобные чувства в той или иной степени имеются почти у каждого человека, составляя некий негативный эмоциональный фон социума, а с другой, при достижении определенной интенсивности, могут перерасти в тяжелые клинические формы — фобии (от греч. φόβος — страх)<sup>7</sup>. В настоящее время психиатры придают социальным фобиям большое значение, что нашло отражение в последней международной классификации болезней, МКБ-10, где социофобии впервые выделены в отдельную группу (F 40.1). Особая роль среди социальных страхов отводится двум достаточно близким формам, имеющим свою специфику, — страху ответственности и страху экзаменов. Первый из них опасен своим продолжительным действием, второй, хотя и яв-

<sup>6</sup> Сенека Л. Нравственные письма к Луцилию. Кемерово, 1986.

<sup>7</sup> Щербатых Ю. В., Ивлева Е. И. Психофизиологические и клинические аспекты страха, тревоги и фобий. Воронеж, 1998; Щербатых Ю. В. Психология страха. М., 1999.

<sup>5</sup> Кирпотин В. Ф.М.Достоевский. М. 1960.

ляется кратким, порой достигает значительной силы.

Во всем мире влияние страха ответственности на развитие сердечно-сосудистых заболеваний трудно переоценить. Зачастую он служит причиной гипертонии, атеросклероза, язвы желудка, инфаркта и инсульта, унесших больше человеческих жизней, чем все войны на Земле. Этот страх практически не имеет под собой биологических корней, он обусловлен исключительно социальными механизмами. Принимая какое-то важное решение, человек берет на себя ответственность за его последствия. Часто это приводит не только к возникновению тревожных мыслей, но и вполне зримо отражается на обмене веществ и физиологических функциях человека. Телесные изменения могут проявляться как в виде увеличения активности, когда человек становится беспокойным и суетливым, так и в ее уменьшении — гиподинамии, заторможенности. Из-за боязни ответственности многие на полпути бросали карьеру, не достигнув своего потенциального потолка.

Второй широко распространенный страх — страх экзаменов — присущ в основном молодым людям, организм которых обладает значительным запасом прочности и менее подвержен психосоматическим болезням. Тем не менее при частом возникновении это чувство также может приводить к серьезным нарушениям со стороны нервной и сердечно-сосудистой систем. Как показали наши исследования, тревожное ожидание экзамена активизирует симпатическую нервную систему: учащается пульс, повышается артериальное давление, нарушается ритм сердца и т.п. Эти параметры не сразу возвращаются к норме, и, если студент сдает за сессию четыре-пять экзаменов, может возникнуть артериальная гипертония.

Помимо социальных фобий, изучение которых началось сравнительно недавно, существует бесчисленное множество других навязчивых страхов: клаустрофобия (страх замкнутых пространств), агорафобия (страх открытых пространств), нозофобия (страх заболеть каким-либо заболеванием), лиссофобия (страх сойти с ума), мизофобия (страх загрязнения), танатофобия (навязчивый страх смерти) и пр. Началом систематического изучения фобий принято считать 1871 г., когда К.Ф.Вестфаль описал агорафобию, указав, что фобии всплывают в сознании человека помимо его воли и не могут быть произвольно изгнаны из сознания. Обобщая многочисленные описания фобий, можно определить их как интенсивный навязчивый страх с четкой фабулой, которая вызывается определенным стимулом, возникающим при сохранении критического отношения больного к своему состоянию. По мнению психиатров, фобии чаще всего встречаются у астенических и шизоидных личностей, хотя при определенных условиях они возможны и у психически уравновешенных людей. Согласно данным разных американских авторов, распространенность таких расстройств среди населения составляет от 2 до 9 %. Страдают ими преимущественно люди наиболее работоспособного возраста — от 25 до 44 лет.

Сегодня большинство гипотез, касающихся механизмов возникновения фобий, можно свести к двум основным группам, одна из которых восходит к психоаналитической концепции Фрейда, а другая — к условнорефлекторной теории Павлова. С точки зрения отечественных исследователей подавляющее большинство фобий формируется по механизму патологического закрепления условнорефлек-

торной связи. При этом навязчивые страхи возникают в результате наложения во времени индифферентных условных или безусловных раздражителей, вызывавших чувство страха. Например, страх, спровоцированный сердечно-сосудистыми нарушениями (сердцебиением, болью в области сердца, одышкой, холодным потом и др.), который возникает во время пребывания на площади, стадионе или другом открытом пространстве, в дальнейшем по механизму условного рефлекса может привести к агорафобии.

Согласно классической рефлекторной теории, условный стимул постепенно теряет способность вызывать реакцию, если не подкрепляется повторением безусловного стимула. Фобический синдром может длиться годами без явного внешнего подкрепления, что, однако, не противоречит условнорефлекторной теории. Дело в том, что скорость угасания условного рефлекса (как и быстрота его формирования) зависит от эмоционального фона, сопровождающего формирование временной связи. Так, условные рефлексы при болевом подкреплении угасают значительно медленнее, чем при пищевом. Поскольку в основе фобического синдрома, как правило, лежат базисные биологические инстинкты или социальные установки, обеспечивающие физическое или психологическое благополучие, угроза их реализации вызывает сильный страх, делающий такую временную связь весьма прочной.

Клиницисты, занимающиеся навязчивыми страхами, заметили, что со временем подобные связи генерализуются. Сначала страх возникает при непосредственном столкновении с психотравмирующей ситуацией, например при поездке в метро, где ранее у больного случился сердечный при-

ступ, сопровождавшийся чувством сильного страха. На второй стадии страх появляется уже при ожидании встречи с психотравмирующей ситуацией. Впоследствии это чувство может возникать при одном только представлении о психотравмирующей ситуации. Нередко эти навязчивые представления доводят больных до состояния крайней аффективной напряженности с сильными вегетативными реакциями.

Содержание навязчивых страхов претерпевает значительные изменения по мере развития общества. Известный советский психиатр С.Н.Давиденков в свое время отмечал, что раньше чаще боялись сумасшествия, рака, собачьего бешенства, сифилиса, а затем стали появляться фобии артериальной гипертонии, инфаркта миокарда, лучевой болезни и лейкозов. Особенно эти изменения затрагивают группу социальных фобий. Так, сегодня характерен рост интереса ко всему необъяснимому и таинственному (колдовству, экстрасенсорике и т.п.), что, вероятно, связано с социально-экономическим кризисом в нашей стране и потерей веры в принципы и идеалы, которые прежде руководили обществом. В клинике стали чаще встречаться с боязнью экстрасенсов, колдунов, инопланетян и т.п. Катастрофический рост заболеваемости венерическими болезнями и СПИДом породил соответствующие фобии. Особое место среди современных страхов занимают радиофобии. Яркий пример тому — Чернобыльский синдром.

Лечение навязчивых страхов — долгое и трудное дело. Наиболее успешным, как правило, оказывается комбинированный подход, включающий в себя как фармакологическое воздействие, так и психотерапию. В последние десятилетия на Западе пытаются лечить страхи методом нейролингви-

стического программирования (НЛП). Основатели этого метода Д.Гриндер и Р.Бэндер, определившие его как совершенно новую психотехнологию, многие свои приемы взяли из арсенала И.П.Павлова, “позабыв” сослаться на первоисточник. Например, для придания смелости специалисты НЛП просят больного как можно подробнее вспомнить любую ситуацию из жизни, когда он был храбрым. Затем предъявляют ему определенный сигнал (“якорь” — в терминологии НЛП), который “связывается” с состоянием смелости. Теперь, если пациента будет охватывать страх, ему достаточно воспроизвести тот самый “якорь”, который по механизму ассоциации вызывает состояние смелости, и страх уменьшится или исчезнет вовсе. Любой воспитанник русской физиологической школы легко узнает в этой процедуре методику выработки условного рефлекса, причем подкажет, что условный раздражитель нужно предъявлять не “на пике эмоционального переживания”, как советуют американцы, а за некоторое время до него, ибо в противном случае условный раздражитель теряет свое сигнальное значение, а образующаяся временная связь становится менее прочной.

Проверенная нами на практике модификация приемов этого метода в соответствии с основными положениями условнорефлекторной теории позволила в критических ситуациях вызывать у студентов состояния уверенности, смелости, спокойствия и т.д., причем уменьшение чувства страха подтверждалось как субъективными отчетами испытуемых, так и объективными показателями сердечно-сосудистой системы (нормализацией пульса, артериального давления, сердечного ритма).

Итак, страх — одна из наиболее значимых для человека

эмоций, оказывающих мощное воздействие на различные аспекты его жизни. Это чувство, формирующееся на самых ранних этапах онтогенеза, сопровождает человека в течение всего жизненного пути. Не существует людей, не испытывающих страха, — речь идет только о степени его выраженности. Один человек боится смерти, другой — боли, третий — потери социального статуса, четвертый — пауков, и, как ни странно, все эти столь не похожие друг на друга чувства вызывают не только удивительно схожие психофизиологические изменения в организме, но и сопровождаются аналогичными субъективными переживаниями.

Современная цивилизация, избавляя человека от многих биологических страхов, привносит в его жизнь множество других, еще более сильных, таких как страх СПИДа или ядерной войны. Некоторые психиатры называют нашу эпоху “веком тревоги”, полагая, что это чувство, вызванное осознанием сегодняшних проблем, отказом от базисных духовных ценностей и быстротой социальных изменений, пронизывает едва ли не все стороны нашей жизни. Иногда страх и тревога достигают “критической массы”, проявляясь на клиническом уровне, но гораздо чаще человек свывается со своими страхами, формирующими определенный негативный эмоциональный фон, не видя возможности от них избавиться. Наши исследования показали, что у каждого человека имеется определенная иерархическая структура различных по природе и интенсивности страхов, которые определяются особенностями личности, индивидуальным опытом, принятыми в данном социуме установками, а также общими для всех людей возрастными и половыми закономерностями. ■

# Коллекции записей звуков природы

И.Д.Никольский,

кандидат биологических наук

Государственный Дарвиновский музей  
Москва

Собирательство бестиальных (от лат. *bestialis* — звериный) фонозаписей возникло на волне научного интереса к поведению животных и способам их общения. Ясно, что для начала необходимо было создать коллекцию таких записей, ведь только птиц в мире порядка 9 тыс. видов, и почти каждый из них обладает набором видоспецифических голосовых и инструментальных (таких, как стук дятла) звуков. Первые рабочие коллекции, используемые в научных исследованиях, появились в 50—60-х годах, когда зоологам стали доступны портативные магнитофоны.

Интерес к звукам животных не ограничивается только научной стороной дела. Записи нашли применение в прикладной биоакустике (акустические репелленты и аттрактанты), в психотерапевтическом аутотренинге; они востребованы на радио и телевидении, тиражируются на звуковых носителях. Запись звуков природы — это выразительная иллюстрация для художественного или образовательного текста. Словом, бестиальная фонозапись стала не только материалом для научных исследований, но и вошла в культурный обиход. С 1910 г. в России выпущены пластинки и аудиокассеты 107 наименований (в это число не включены многочисленные пиратские копии с зарубежных компакт-дисков, появившиеся в 90-е годы).

Первая в мире штатная (т.е. созданная на базе какого-либо учреждения) коллекция была основана зоологом А.Алленом и физиком П.Келлогом при лаборатории орнитологии Корнелльского университета в США в 1931 г. Сегодня это одно из крупнейших собраний записей звуков животных. Его фонды непрерывно растут благодаря многочисленным добровольным вкладчикам, чьи коллекции депонируются в каталоге собрания.

По списку, опубликованному в журнале "Bioacoustics", 17 штатных коллекций входят в число наиболее крупных в мире собраний записей звуков природы<sup>1</sup>. Они находятся при звуковых архивах, музеях, лабораториях и на кафедрах университетов. Впечатляющей коллекцией, к примеру, располагает отдел звуков природы при Национальном звуковом архиве Великобритании (основанный в 1969 г.) — более 100 тыс. магнитофонных полевых записей, произведенных во всех зоогеографических зонах планеты. Кроме того, в архиве хранятся звуковые носители (пластинки, аудиокассеты, компакт-диски) свыше 1600 наименований. Вероятно, это — две трети мировой продукции, произведенной с 1910 г.

В вышеназванный список вошли и два российских собрания. Одно из них — фонотека голосов животных, созданная в 1971 г. Б.Н.Вепринцевым при Институте биофи-

зики РАН в Пущине. Основу этой коллекции составили оригиналы магнитофонных записей, произведенных Вепринцевым и другими зоологами в разных регионах СССР за многие годы. В коллекции хранятся также свыше 500 тиражированных звуковых носителей, присланных в основном из-за рубежа (их каталог был выпущен фонотекой).

Другая коллекция, упомянутая в списке, стала складываться с 1966 г. на кафедре зоологии позвоночных животных биофака МГУ<sup>2</sup>. Инициаторы ее создания — заведующий кафедрой профессор Н.П.Наумов и Вепринцев. В этот период на кафедре активно велись биоакустические работы и фонотека регулярно пополнялась все новыми полевыми записями, поступавшими от сотрудников и аспирантов. С 1968 г. хранителем фонотеки стал автор этих строк.

Обе коллекции, академическая и университетская, не только пополнялись фонды, но и использовались в научных и просветительских целях. Достаточно напомнить, что в 60—80-х годах подавляющая часть отечественных бестиально-звуковых публикаций была подготовлена по материалам фонотек. Некоторые выдержали ряд переизданий — к примеру, серия популярных пластинок "Голоса птиц в природе", в создании которой помимо Вепринцева приняли участие зоологи Р.Наумов, И.Нейфельдт и др., а также

комплект пластинок для школ, подготовленный фонотекой МГУ по заказу Минпроса СССР в 1979 г. Фонотека МГУ дважды (в 1986 г. в Биологическом музее им. К.А. Тимирязева и в 1991 г. в Зоологическом музее МГУ) проводила ретроспективные тематические выставки пластинок с выпущенными в России записями звуков животных.

Сейчас, на исходе столетия, отечественные коллекции бестиальных фонозаписей находятся в следующем состоянии. Продолжает существовать фонотека при Институте биофизики РАН в Пущине. После кончины ее основателя профессора Вепринцева

(1928—1990) хранение коллекции осуществляет биофизик О.Д. Вепринцева.

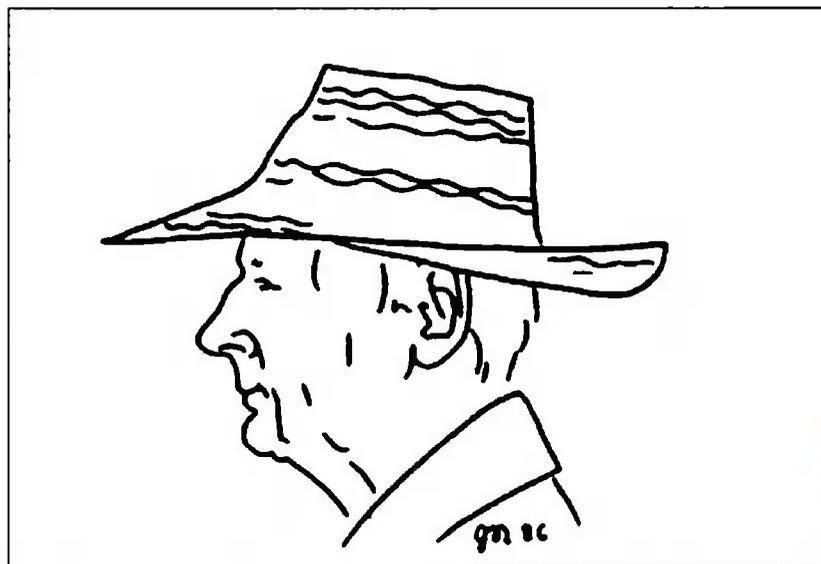
Фонотека при кафедре зоологии позвоночных, животных биофака МГУ к середине 90-х годов прекратила свое существование. Часть ее коллекции поступила в фонды Государственного Дарвиновского музея, где с марта 1997 г. при научно-исследовательском отделе начал формироваться бестиально-звуковой научно-вспомогательный фонд, насчитывающий к настоящему времени более 200 наименований тиражированных звуковых носителей. Разработан и ведется предметный каталог с описа-

нием каждого носителя. Содержание носителей (виниловых, гибких, а также компакт-дисков, аудиокассет) отражено в систематическом каталоге, который организован по принципам зоологической систематики.

Станет ли формирующийся научно-вспомогательный фонд коллекцией — покажет будущее. Между этими двумя формами музейного хранения есть принципиальное различие: во вспомогательном фонде допускается снятие копий с оригинала, а в коллекции оригиналы хранятся в запасах, в производственном обиходе используются только копии с оригиналов. ■

## “В каждой шутке есть доля правды”\*

Дабы не вводить в заблуждение несведущего и не разгневать серьезного, хорошо разбирающегося в зоологии читателя, раскроем карты и напомним, что предыдущий номер, в котором опубликована наша (под псевдонимами С.Д. Фелдоянц, А.Зельбстандер) статья “Загадочные носоходки”, был апрельским<sup>1</sup>. Тем более, однажды это уже случилось с известным таксономистом, названным в статье профессором В.Ричвордом. Получив в подарок рисунки наших носоходок, профессор помрачнел и сказал: “Не признаю шуток в науке!”



Автопортрет Герольфа Штайнера (он же Харольд Штюдмке, он же Карл Д.С.Геесте), известного немецкого зоолога, автора загадочных носоходок.

\* Вольный перевод строки римского поэта Марциала (43—104 г.) “Non cuiusque datum est habere nasum”, которую мы поставили эпиграфом к статье “Загадочные носоходки” (Природа. 2000. №4. С.46—54).

<sup>1</sup> В этом апрельском номере кроме “Загадочных носоходок” опубликовано еще несколько материалов, которые не следует воспринимать буквально: новости “Кубонды действительно существуют” (с.72), “Несохранение четности времени” (с.74) и краткое сообщение об аномальных осадках в Магаданской обл. (с.26).

“Открытия” носоходок и других не менее фантастических животных принадлежат известному немецкому зоологу Герольфу Штайнеру.

Еще в студенческие времена в Гейдельбергском университете (Германия) он вместе с друзьями развлекался выдумыванием разных мифичес-

Комментарии

ких животных, описания и рисунки которых служили основой для развития фантастических эволюционных идей, не лишенных рационального зерна, поскольку горячие дискуссии способствовали формированию филогенетического мышления. Еще во времена Отто Бючли (1898) здесь выходило многотомное издание "Stammbuch des Zoologischen Institut", впоследствии переименованное в "Schwarzes Buch" ("Черная книга"), в котором, между прочим, принимали участие и русские исследователи В.В.Редикорцев, Н.А.Касьянов и др. Героями одного из томов, вышедшего в 1929 г., были Balhörner (рогатые шары) — гипотетические млекопитающие, которые обитают на болотах, в степях, пустынях и на холмах. Особое внимание уделялось адаптациям, закрепляющимся в ходе эволюции.

До второй мировой войны Штайнер работал ассистентом на кафедре зоологии в Гейдельбергском университете. Профессор этой кафедры, начальник Штайнера, в то время наблюдал за стайным поведением озерных голянов (*Pboxinus pboxinus*). Его эксперименты сводились к изучению последствий удаления части мозга у этих рыбок. Оказалось, что в результате такой операции рыбки теряли стайный инстинкт и стремились к лидерству (Führerschaft). Вывод о том, что удаление мозга приводит к "фюрерству", стоил профессору свободы. На его место был приглашен Штайнер. Работая со студентами, он продолжал выдумывать новых животных и рисовать их черно-белые и цветные изображения. Во время лекций Штайнер демонстрировал эти рисунки. После войны города Гейдельберг и Дармштадт, в котором находился другой, более молодой Дармштадтский технический уни-

верситет (между ними — не более 50 км), оказались в американской зоне оккупации. Дом, где была квартира Штайнера, разбомбили, но ему удалось спрятать свои рукописи, рисунки и акварельные краски в подвале разрушенного дома, а позже перенести в пустующий дом коллеги и поселиться там. Университеты не работали. Жители города сидели по домам и лишь днем на час-другой выходили на улицу, пытаясь раздобыть еду. По воспоминаниям Штайнера, чувство голода было доминантой, и день считался удачным, если на обеденном столе оказывались улитки, майские жуки, крапива или, если повезет, мясо кролика. Студентка Штайнера приносила ему на обед аспарагус из своего сада, а он дарил ей рисунки. Но дубликаты оставались. Часть из них он пытался продавать, чтобы заработать на еду... В 1946 г. вновь открылся Дармштадтский университет и Штайнер начал там работать. Но он не забывал своих коллег-зоологов и друзей из находящегося неподалеку Гейдельберга. Профессор Вернер Раух помог сделать с рисунков Штайнера цветные слайды, которые другой коллега, Эрих фон Холст, использовал на семинарах, посвященных эволюции животных.

Популярность рисунков Штайнера росла, и вслед за рогатыми шарами на свет появились носоходки (*Rhinogradentia*), изображения которых также демонстрировались на семинарах. Иллюстрации постепенно стали обрастать текстом, и в 1950 г. Штайнер сделал первую попытку издать книгу о *Rhinogradentia* с собственными цветными иллюстрациями. Но тогда это оказалось ему не по карману. В 1957 г. он написал послесловие к "Манускрипту Харальда Штюмпке" о фауне островов, затонувших

в результате атомных испытаний.

Первое издание книги Х.Штюмпке (псевдоним Г.Штайнера) "Bau und Leben der Rhinogradentia" вышло в 1960 г. в самом известном и серьезном немецком издательстве "Gustav Fischer Verlag" (Stuttgart; Jena), специализирующемся на выпуске руководств, учебников и теоретических монографий. Книга имела настолько ошеломляющий успех, что в конце того же года была переиздана. Первоначально монография, естественно, вызвала шок: зоологи долго не могли понять подвоха — слишком высоко было доверие к издательству со знаменитой эмблемой — рыбкой, машущей хвостом... Когда же шутка оказалась раскрыта, Штайнера простили за профессиональность и то удовольствие, которое испытывает каждый читающий и от текста, и от юмора, и от великодушных иллюстраций. Не удивительно, что книга была несколько раз переиздана на немецком (последнее издание — в 1998 г., с цветными иллюстрациями) и переведена на французский, английский и японский языки. Не так давно издательство "Gustav Fischer Verlag" выпустило монографию "Stümpke's Rhinogradentia. Versuch einer Analyse", где на 119 страницах анализируется роль группы носоходок в эволюции животных. Автор монографии Karl D.S.Geeste — все тот же известный профессор зоологии Герольф Штайнер, сейчас ему 91 год.

© С.Степаньянц,

кандидат биологических наук

Зоологический институт РАН

С.-Петербург

А.Свобода

Рурский университет

Бохум (Германия) ■

# Критический взгляд на ноосферу В.И.Вернадского

Г.С.Левит

Концепция ноосферы Вернадского — это система представлений о будущем планеты, основанная, по его выражению, на “эмпирических обобщениях” теории биосферы. Пытаюсь научно обосновать одно из своих самых глубоких интуитивных убеждений — безграничную веру в силу науки, Вернадский придал своим размышлениям о ноосфере статус научной, а не философской концепции.

## Структура доказательств

Термин “ноосфера” впервые использовал французский философ и математик Э.Леруа<sup>1</sup>, один из слушателей лекций Вернадского по геохимии, которые тот читал в Париже в 1922—1926 гг. Леруа утверждал, что биологическая эволюция подошла к своему завершению и с появлением человека начинается ее новая стадия — эволюция духовная. Эту новую стадию эволюции Леруа и называл ноосферой.

<sup>1</sup> См.: Le Roy E. L'exigence idealiste et le Fait d'Evolution. Paris, 1927.

© Г.С.Левит



*Георгий Семенович Левит, окончил Ленинградский педагогический институт им.А.И.Герцена, работал слесарем механосборочных работ, водолазом. С 1995 г. научный сотрудник Университета Ольденбурга им. Карла фон Оссетцки (Германия). Защитил диссертацию по теме “Биогеохимия—Биосфера—Ноосфера: становление теоретической системы В.Вернадского”. Области интересов — история и философия науки.*

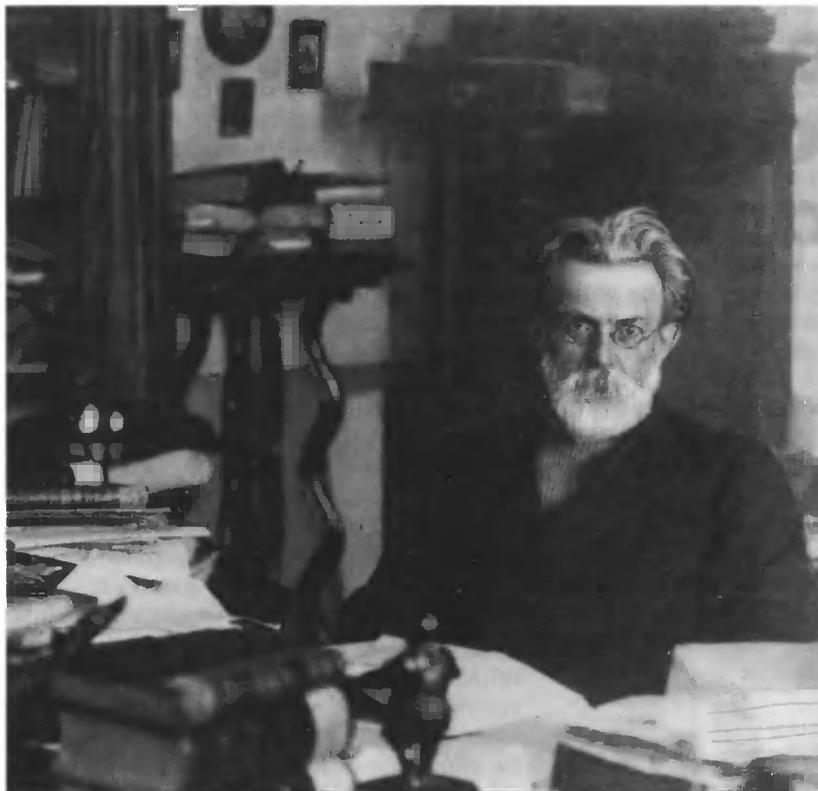
Вернадский заимствовал понравившееся ему слово “ноосфера”, но никак не его смысл. Он не считал биологическую эволюцию законченной. Идея Вернадского заключалась в другом. Биосфера, которая эволюционирует в сторону самостабилизации и усиления биогенной миграции атомов, проходит в своем развитии через несколько стадий. Завершающую стадию этой эволюции он назвал ноосферой, которая характеризуется тем, что инструментом стабилизации и усиления биогенной миграции вещества служит разум человека, а точ-

нее — научный разум. Научная мысль рассматривается при этом как функция биосферы, или “планетное явление”<sup>2</sup>. Таким образом, ноосфера неотделима от биосферы и не может трактоваться как “мыслящий пласт”, находящийся “вне биосферы и над ней” (выражение Тейяра де Шардена<sup>3</sup>).

Будучи естественным телом, ноосфера, согласно Вернадскому, включает в себя живое вещество, атмосферу, литосферу и гидросферу. Частью ноо-

<sup>2</sup> Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. М., 1991.

<sup>3</sup> Шарден Тейяр де. Феномен человека. М., 1987. С.149.



Вернадский в своем рабочем кабинете. Петроград. 1921 г.

сферы оказываются и продукты технологической активности человека. "Взрыв научного творчества" в XX в. рассматривается как закономерное явление, подготовленное всем ходом эволюции биосферы. На волне этого взрыва человечество превращается для биосферы в направляющую силу. Роль регулятора глобальных процессов накладывает на него ряд социальных обязательств, таких как демократизация общественной жизни, устранение голода, войн и нищеты. Таким образом, биосфера посредством науки преобразует себя на всех уровнях — от геохимического до социального.

Хотелось бы заметить, что мы не будем здесь обсуждать ценность самой идеи эволюционирующего разума как фактора, стабилизирующего биосферные процессы. Недавно вышедшая книга В.А.Красилова "Метаэкология закономерности эволюции природных и ду-

ховных систем" (М., 1997)<sup>4</sup>, посвященная эволюции ментального мира и биологических систем, — прекрасная иллюстрация того, насколько плодотворной может быть разработка этой идеи. Тем не менее нам хотелось бы вернуться к критическому анализу тех аргументов, которые выдвигал сам Вернадский в обоснование своей концепции, поскольку в науке имеет ценность не столько сама идея, сколько ее доказательство.

Можно выделить ряд основных положений Вернадского:

(1) Наука — функция биосферы и, таким образом, представляет собой планетное (космическое) явление.

(2) Преобразуемая наукой биосфера превращается в ноосферу.

<sup>4</sup> См. рецензию: Гиляров А. М. От эволюции биосферы к эволюции сознания // Природа. 1998. №7. С.119–121.

(3) Наступление ноосферы закономерно.

Положение (1) распадается, в свою очередь, на два тезиса. Во-первых, Вернадский настаивал на том, что логика науки "глубоко и неразрывно связана с биосферой", называя это утверждение "основным для биосферы эмпирическим обобщением"<sup>5</sup>. Тезис этот трудно принять: он неясно выражен и принципиально недоказуем. Это "обобщение" не может быть названо эмпирическим, поскольку "эмпирическое" — прежде всего поддающееся наблюдению и эксперименту. Мы не видим, каким образом связь логики естествознания с биосферой может быть доказана (опровергнута — для последователей К.Поппера) путем непосредственного (опосредованного) наблюдения или эксперимента.

Второй тезис тесно связан с положением (1): наука — закономерное геологическое явление. Он мог бы служить предметом доказательства.

Положение (2) также имеет две стороны. Мысль о том, что человек создает искусственные экосистемы, которые постепенно вытесняют экосистемы естественные, не нуждается в доказательствах. Уже во времена Вернадского территория Голландии фактически представляла собой искусственную экосистему.

Однако убеждение в том, что процесс наступления искусственных экосистем на естественные неизбежно приведет к "триумфу разума и гуманизма", несет на себе черты утопизма<sup>6</sup>.

Положение (3) можно считать потенциально доказуемым. Для того чтобы его доказать, необходимо описать законы, вследствие кото-

<sup>5</sup> Вернадский В. И. Проблемы биогеохимии. М., 1980. С.111.

<sup>6</sup> См.: Кутырев В. А. Утопическое и реальное в учении о ноосфере // Природа. 1990. №11. С.3–10.

рых наступление ноосферы неизбежно.

## Научный разум как геологическое явление

Вернадский рассматривает науку как геологическую силу. Этот тезис чрезвычайно важен для него. Как только научный разум теряет статус закономерного, естественного явления, распадается вся концепция ноосферы, поскольку исчезает основной пафос идеи: биосфера преобразует сама себя посредством одной из своих функций — научного разума.

Чтобы доказать естественность и неизбежность антропогенного воздействия на биосферу, Вернадский рассматривает технологическую активность человека, но при этом принимает во внимание только химический состав и скорость обращения вещества биосферы.

Согласно первому и второму биогеохимическим принципам (БГХП), сформулированным Вернадским, биогенная миграция атомов в биосфере стремится к максимальному своему проявлению, и в биосфере должны возникать виды и формы “организованности”, увеличивающие действующую биогенную энергию, т.е. эволюция биосферы должна иметь направленность. Появление разума (науки) на планете чрезвычайно усилило биогенную миграцию атомов (Вернадский называет ее миграцией 3-го рода<sup>7</sup>) и лежит целиком в русле этого направления развития биосферы. Таков, согласно Вернадскому, один из аргументов в пользу того, что появление научного разума неизбежно.

Второй БГХП едва ли пригоден в качестве аргумента. Он лишь описывает тенденцию увеличения и усложнения характера биогенной миграции, не служит универсальным законом в строгом смысле слова и не вскрывает механизма усиления биогенной миграции. Если под механизмом миграции подразумевать геохимическую трактовку Вернадским борьбы за существование (версия второго БГХП): “При эволюции видов выживают те организмы, которые своею жизнью увеличивают биогенную геохимическую энергию”, — то эта трактовка противоречит Вернадским же введенному делению биогенных миграций химических элементов. Как известно, он подразделяет биогенные миграции на три рода: первый — миграция, вызванная метаболизмом микроорганизмов, второй — вызванная метаболизмом макроорганизмов и третий — вызванная механической работой (например, транспортировкой вещества) макроорганизмов, включая человека. Биогенная миграция первого рода несравненно интенсивнее миграции второго рода, что было ясно уже Вернадскому и полностью подтверждается современными данными биогеохимии. Э.И.Колчинский<sup>8</sup> обращает внимание на то, что, к примеру, концентрация марганца рядом микроорганизмов в 1.2 млн раз превышает концентрацию этого элемента в окружающей среде. Макроорганизмы не могут соперничать с бактериями и грибами по масштабам биогеохимической активности.

В.Крумбайн и Х.-Й.Шелльнхубер<sup>9</sup> отмечают, что микробные биопленки могут уско-рять геохимические процессы

(например, выветривание) в 10 тыс. и более раз. В этой связи Колчинский предложил поправку ко второму БГХП, которая заключается в том, что этот принцип применим лишь в пределах царства животных. За его пределами он теряет свое значение. Но в этом виде второй БГХП теряет значение также и в качестве аргумента в пользу обязательного появления научного разума, поскольку оказывается, что в ходе эволюции возникают виды, обладающие меньшей совокупной геохимической энергией, чем их предшественники.

Наконец, первый и второй БГХП не устанавливают оптимального для стабильного функционирования биосферы уровня интенсивности биогенной миграции химических элементов, и поэтому они ничего не говорят нам о том, насколько в действительности функционально (с точки зрения стабилизации биосферных процессов) усиление биогенной миграции, вызванное техногенной цивилизацией.

Если принять точку зрения Вернадского, то из второго и первого БГХП буквально следует, что биосфера стремится к максимальному проявлению действующей биогенной энергии и что должны были возникать формы организованности, такому стремлению удовлетворяющие. Но в этих принципах нет указаний на то, какие именно формы организованности должны были бы возникнуть.

На это, по мысли Вернадского, должен указывать еще один принцип, или эмпирическое обобщение Дж.Дана (1813—1895). В книге, посвященной классификации ракообразных, Дана сформулировал принцип, который, как он считал, применим ко всему царству животных: более высокий уровень “централизации” на более высоких ступенях развития и менее концен-

<sup>7</sup> Колчинский Э. Эволюция биосферы. Л., 1990. С.117.

<sup>8</sup> Krumbain W.E., Schellhuber H.-J. // Terra Nova. 1992. №4. P.351—362.

<sup>9</sup> Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., 1965. С.267, 277.

трированные “центральные силы” на более низких<sup>10</sup>. Под централизацией Дана имел в виду цефализацию, т.е. формирование центральной нервной системы. Вернадский переформулировал этот принцип, дополнив его положением о том, что процесс цефализации (Вернадский иногда употреблял термин “энцефалоз”) никогда не идет вспять и выражается, следовательно, полярным вектором времени.

В теоретическом мире Вернадского принцип Дана дополняет биогеохимические принципы и показывает, что усиление и усложнение биогенной миграции происходит посредством усложнения нервной организации видов — цефализации. Появление носителя человеческого разума — мозга — не противоречит этому обобщению Дана, которое, впрочем, не доказывает его закономерности. Напротив, многие ведущие эволюционисты, такие как Ф.Добжанский, а также Ф.Айала, Г.Симпсон, Э.Майр, принимая во внимание вероятность того, что эволюция направлена к человеческому разуму, считают, что “в геологических отложениях нет никаких указаний на то, что эволюция разума хоть в какой-либо степени неизбежна”<sup>11</sup>.

Таким образом, ни первый и второй БГХП, ни принцип Дана не могут быть использованы в качестве аргументов в пользу неизбежности появления научного разума.

Вернадский искал подтверждения своей идеи также и за пределами чисто биологических (биогеохимических) аргументов. Он попытался создать собственную теорию пространства—времени живого вещества. Мы не будем вос-

производить основные ее положения и лишь укажем на связи с идеей ноосферы.

Ключевым понятием теории пространства—времени Вернадского служит диссимметрия. Иными словами, правизне и левизне в пространстве во временном плане соответствует необратимость. Живое вещество — носитель эволюционных процессов, и, следовательно, эволюция биосферы в целом необратима. Вернадский пишет:

“Необратимость эволюционного процесса является проявлением характерного отличия живого вещества в геологической истории планеты от ее косных естественных тел и процессов. Можно видеть, что она связана с особыми свойствами пространства, занятого телом живых организмов, с особой его геометрической структурой, как говорил П.Кюри, с особым состоянием пространства”<sup>12</sup>.

В приведенной цитате Вернадский говорит, конечно же, о пространстве-времени, а не просто о пространстве, в противном случае предложение становится бессмысленным, поскольку пространство не может быть необратимым.

Если мы принимаем это положение, то процессы, описываемые биогеохимическими принципами и принципом Дана, становятся необратимыми по определению, т.е. необратимость оказывается присуща самому пространству-времени живого вещества. Биогенная миграция, по Вернадскому, должна усложняться и усиливаться, а мозг увеличиваться. Вернадский в этой связи указывал, что не считает человеческий мозг венцом биологической эволюции.

Гипотеза о взаимосвязи особого пространства-вре-

мени живого вещества и необратимости биологической эволюции вызывает целый ряд возражений. Можно обратить внимание на то, что добиологическая эволюция (большой взрыв, эволюция звезд и т. д.) никак не менее необратима, чем эволюция биологическая.

Однако необратимость времени не может быть непосредственно связана с необратимостью биологической эволюции. Согласно Вернадскому, процессы, создающие косные естественные тела биосферы, обратимы во времени. Если, к примеру, мы растворим в воде кристаллик поваренной соли, а затем позволим соли вновь кристаллизоваться, то возникнет кристалл с абсолютно такой же структурой. Это должно означать, что процессы кристаллизации и растворения симметричны во времени, т.е. обратимы. Наблюдая за живым веществом, мы видим противоположную картину. Процессы размножения, мутации очевидно необратимы (даже принимая во внимание обратные мутации).

Но даже если мы станем на точку зрения Вернадского, временная необратимость процессов, происходящих в живом веществе, не имеет ничего общего с прогрессивной морфологической эволюцией и процессом цефализации. Необратимость времени не чувствительна к направлению эволюционного процесса. Иными словами, как прогрессивная морфологическая эволюция, так и морфологическая деградация будут одинаково необратимыми процессами.

Таким образом, ни один из аргументов Вернадского в пользу понимания науки как закономерного возникшего геологического явления не кажется нам удовлетворительным.

<sup>10</sup> Dana J.D. Crustacea. P.II. Philadelphia, 1852. P.1396.

<sup>11</sup> Barrow J., Tipler F. The Anthropic Cosmological Principle. Oxford, 1986. P.133.

<sup>12</sup> Вернадский В. И. Научная мысль как планетное явление. С.24.

## Ноосфера неизбежна?

По мысли Вернадского, однажды возникнув, наука обречена на прогресс и обязательно приводит к становлению ноосферы. Отчасти, как мы уже упоминали, это связано с особым характером пространства-времени живого: "Научная мысль как проявление живого вещества не может быть обратимым явлением..."<sup>13</sup> К этому положению полностью применимы критические замечания, приведенные выше, что освобождает нас от необходимости повторяться.

Утверждения Вернадского по поводу неизбежности становления ноосферы наиболее дискуссионны. Приведем один из ярких примеров:

"Цивилизация «культурного человечества» — поскольку она является формой организации новой геологической силы, создавшейся в биосфере, — не может прерваться и уничтожиться, так как это есть большое природное явление, отвечающее исторически, вернее геологически, сложившейся организованности биосферы"<sup>14</sup>.

На этом примере хорошо видно, что Вернадский переносит естественнонаучную методологию на исторические процессы. Фактически он приравнивает человеческий разум к "стихийным" биосферным явлениям. Цитированное положение Вернадского — это версия чрезвычайно жесткого социального детерминизма, который может рассматриваться как логическое продолжение его естественнонаучного детерминизма<sup>15</sup>.

Приведем еще одно высказывание, выразительно иллю-

стрирующее социальный детерминизм Вернадского:

"Все страхи и рассуждения обывателей, представителей гуманитарных и философских дисциплин о возможности гибели цивилизации связаны с недооценкой силы и глубины геологических процессов, каким является происходящий ныне, нами переживаемый, переход биосферы в ноосферу"<sup>16</sup>.

Утверждение Вернадского можно прокомментировать следующим образом: поскольку геологический процесс — процесс естественный, а человек мощнейшим образом повлиял на его ход, значит, само это влияние на биосферу носит естественный характер. Природа природе противоречить не может. Следовательно, цивилизация неуничтожима.

В этой цепочке рассуждений уязвимо каждое звено. Все процессы, происходящие в природе без участия человека, мы можем называть естественными независимо от их "силы и глубины". Так, биосфера до появления человека была естественной и до определенной степени саморегулирующейся системой, что, однако, тоже не гарантировало ее от экологических катастроф (достаточно вспомнить "кислородный холокост", спровоцированный в докембрии жизнедеятельностью цианобактерий). С возникновением наделенного сознанием и свободой выбора человека стало возможным появление искусственных тел и процессов, их создающих. Человек создавал, скажем, искусственные упрощенные биогеоценозы, которые без его помощи не могли бы существовать. Такие биогеоценозы уже нельзя назвать естественными. Ничто не может помешать человеку перестроить все естественные биогеоценозы так, чтобы вывести биосферу из естествен-

ного равновесия или, точнее, перевести ее на новую ступень стабильности, где человеку места уже не будет. При этом "сила и глубина" воздействия человека на природные биогеоценозы не придаст им естественности.

Можно утверждать, что ни одно открытие современной геологии не противоречит возможной гибели "цивилизации культурного человечества".

Для того чтобы понять, каким образом Вернадский, натуралист, мог позволить себе столь вызывающие пророчества, мы должны принять во внимание, что разум, творец ноосферы, — это для Вернадского прежде всего научный разум. Наука же, как мы уже упоминали, рассматривается им как природное явление, которое не может быть "антиприродным" и, следовательно, аморальным по определению. Наука оказывается как бы в состоянии до грехопадения, тогда как остальные формы ментальной активности, такие как философия и религия, несут на себе неизгладимый отпечаток человеческой субъективности и поэтому на роль универсального объединителя всего человечества не годятся.

Необходимо заметить, что никакой жесткой зависимости между возникновением науки и становлением цивилизации не существует. Как справедливо заметил А.Е. Левин: "Историческая истина состоит в том, что наука — это довольно позднее и притом локальное порождение цивилизации"<sup>17</sup>.

Но даже если мы примем точку зрения Вернадского и согласимся с тем, что, как показано в предыдущем разделе, наука — это неизбежно возникающее биосферное явление, и согласимся с тем, что претензии науки на роль универсального объединителя

<sup>13</sup> Там же. С.25.

<sup>14</sup> Там же. С.40.

<sup>15</sup> Гиляров А. М. Вернадский, дарвинизм и Гей. Критические заметки на полях биосферы // Журн. общ. биологии. 1994. Т.55. №2.

<sup>16</sup> Вернадский В. И. Научная мысль как планетное явление. С.45.

<sup>17</sup> Левин А. Е. Миф. Творчество. Наука // Природа. 1977. №3. С.88—102.

обоснованны, и примем жесткий социальный детерминизм Вернадского, — даже и в этом случае его аргументы не будут выглядеть убедительно. Неизбежный, естественный характер возникновения научной мысли не гарантирует ее от того, что начиная с определенного момента времени она не начнет играть деструктивную роль в биосфере.

Можно построить модель системы, которая будет разрушена элементом этой системы. Мы знаем примеры, когда развитие естественных экосистем приводит их к гибели. Так, развитие лесных экосистем в горах, на крутых склонах, на плотных горных породах ведет к формированию все более мощной толщи мелкозема. В конечном итоге такая система становится нестабильной, происходит оползень и гибель всего лесного сообщества. И на обнаженной горной породе начинается развитие новой экосистемы.

Таким образом, ни планетный характер научной мысли, ни закономерность ее зарождения, ни глубина и интенсивность воздействия человека на геологические процессы не являются убедительными аргументами в пользу необратимости становления ноосферы.

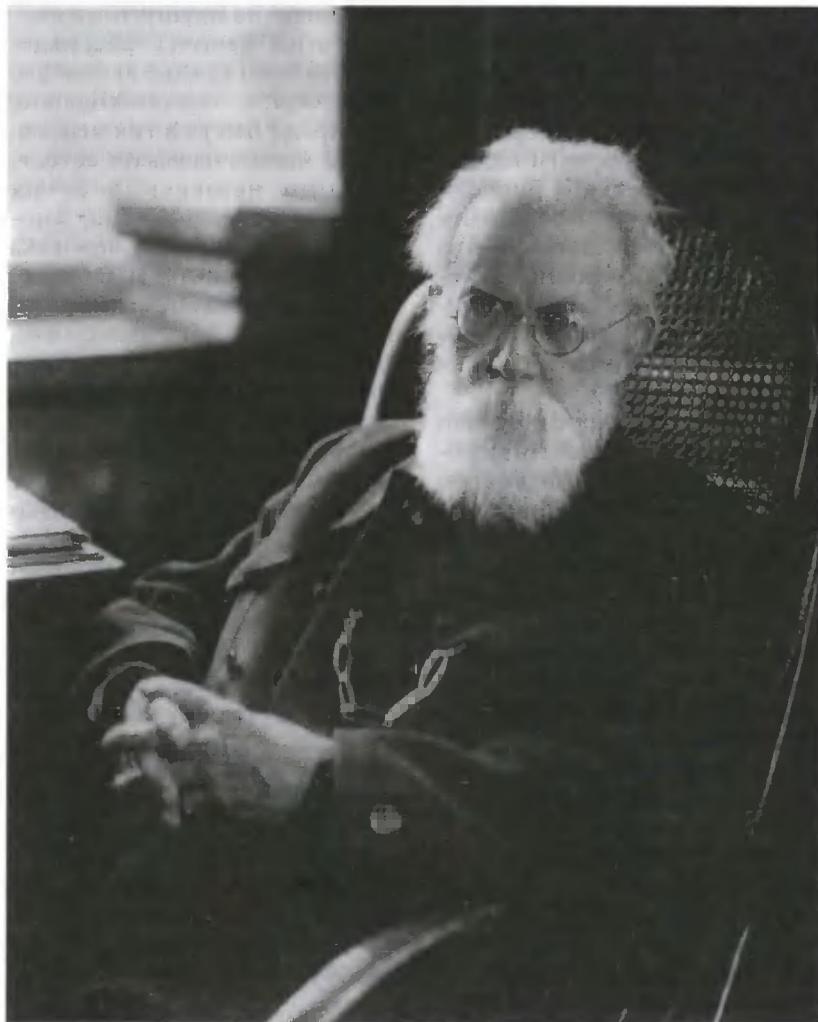
Наконец, мы могли бы вернуться к вопросу о привилегированном положении научной мысли. Если мысль, согласно Вернадскому, есть естественное планетное явление, то она должна быть таковой во всем. Мы могли бы поставить вопрос о том, как объективная научная мысль сосуществует в едином сознании с субъективной и часто деструктивной философской или обыденной мыслью. Каким образом претензии научной мысли на объективность могут быть оправданы? Вернадский осознавал эту проблему и понимал, что его концепция ноосферы не будет законченной, если он не попытается

создать “ноосферную философию” науки. И он пытается доказать, что наука способна порождать бесспорные истины, что остов науки “может считаться обязательным и непреложным для всех, не может и не должен возбуждать сомнений”. Мы не станем отвлекать внимание читателя на науковедческий анализ этого положения Вернадского, напомним лишь, что история науки не знает ни одной удачной попытки исчерпывающим

образом обосновать претензии науки на обладание вечными истинами.

Итак, созданная Вернадским система принципов и обобщений, описывающая биосферу, безусловно может быть названа научной теорией<sup>18</sup>. Увы, этого нельзя сказать о концепции перехода биосферы в ноосферу. ■

<sup>18</sup> См.: Флоренский К. П. Биосфера глазами натуралиста // Природа. 1988. №2. С.52—128.



*Вернадский в конце жизни.*

## Океанология

### Новая океанографическая программа "Argo"

В США принято решение приступить к созданию международной глобальной программы "Argo", цель которой — унифицированно и синхронно собрать данные в реальном времени о физических и химических процессах, происходящих в Мировом океане. Методологическую и техническую основу программы составляет опыт океанологических работ, проводившихся на протяжении почти 20 лет под эгидой Национального научного фонда и Управления научных исследований ВМФ США.

Предполагается во всех морях разместить сеть из 3 тыс. буев примерно в 300 км друг от друга. После установки буй погружается на глубину 2 тыс. м и находится там в течение 10 сут. Затем он постепенно поднимается, продолжая на всех горизонтах измерять температуру и соленость воды и определять структуру течений. После достижения буем поверхности его аппарата передает собранную информацию и данные о местонахождении на один из искусственных спутников Земли. По завершении этого цикла буй снова погружают. Время оперативной жизни каждого из входящих во всемирную сеть буев составит от четырех до пяти лет.

Спутники ретранслируют полученную информацию наземным станциям, откуда она поступает в распоряжение нескольких научных групп, находящихся в различных странах, где производится первоначальная проверка ее качества. С помощью Глобальной телекоммуникационной системы данные в реальном времени становятся доступными и для оперативных прогнозов, и для фундаментального изучения. Причем такая

информация открыта любому пользователю (к тому же без имущественных ограничений).

Расстановкой буев будут заниматься как различные суда, так и самолеты. В создание сети предполагается включить сотни торговых судов, а наиболее удаленные от населенного мира акватории будут задействованы с воздуха.

Уже сейчас существуют отдельные компоненты этой системы — программы "Global Climate" ("Глобальный климат") и "Global Ocean Observing System" ("Система наблюдения за Мировым океаном"). К ним предстоит в дальнейшем присоединить программы "CLIVAR" ("Climate Variability and Predictability" — "Переменчивость и предсказуемость климата") и "GODAE" ("Global Ocean Data Assimilation Experiment" — "Эксперимент по обработке данных о Мировом океане").

В 1999 г. Всемирная метеорологическая организация и Ассамблея межправительственных океанографических комиссий одобрили план проведения программы "Argo", оценив ее как важнейший вклад в познание Мирового океана и метео-климатических явлений.

Национальное управление по изучению океана и атмосферы США берет на себя расстановку одной трети всех буев в течение трех лет и ассигнует на это 12 млн долл. К участию приглашены соответствующие организации западноевропейских стран, Японии, Канады, Австралии и др. Подчеркивается, что без международного сотрудничества такое мероприятие невозможно.

Earth System Monitor. 1999. V.10. №1. P.6 (США).

### Космическая ультрафиолетовая обсерватория

23 июня 1999 г. был запущен принадлежащий НАСА США спутник "FUSE" ("Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer" — "Исследователь дальнего ультрафиолетового диапазона"). Этот запуск — часть крупномасштабного проекта "Origin" ("Происхождение").

В течение ближайших трех лет задача "FUSE" — собрать данные, которые помогут определить происхождение самых легких элементов во Вселенной — водорода и дейтерия, а также глубже проникнуть в детали эволюции галактик, звезд и планетных систем.

В процессе звездного горения происходит разрушение дейтерия, поэтому его концентрация в области звездных скоплений должна убывать. Картографируя распределение этого изотопа в нашей Галактике, можно прояснить вопросы циркуляции дейтерия в пределах галактик, а это в свою очередь позволит судить о синтезе дейтерия в процессе Большого взрыва.

Телескоп нового спутника оснащен четырехсегментным главным зеркалом, которое позволяет регистрировать ультрафиолетовое излучение в дальней части спектра (90—120 нм), причем с высоким разрешением. Два из этих сегментов покрыты слоем из алюминия и фторида лития, что дает лучшее отражение в длинноволновой части диапазона. Четыре специальные решетки разлагают ультрафиолетовое излучение в спектр, а два детектора регистрируют его интенсивность для последующей передачи на Землю.

Чувствительность приборов "FUSE" в 10 тыс. раз выше, чем у спутника "Коперник", запущенного с аналогичной целью в 70-х годах. Руководитель проекта — Дж.Соннеборн (G.Sonneborn), научный сотрудник Центра космических полетов НАСА им.Годдарда.

Astronomy and Geophysics. 1999. V.40. №4. P.3 (Великобритания).

## Тайна Черного облака

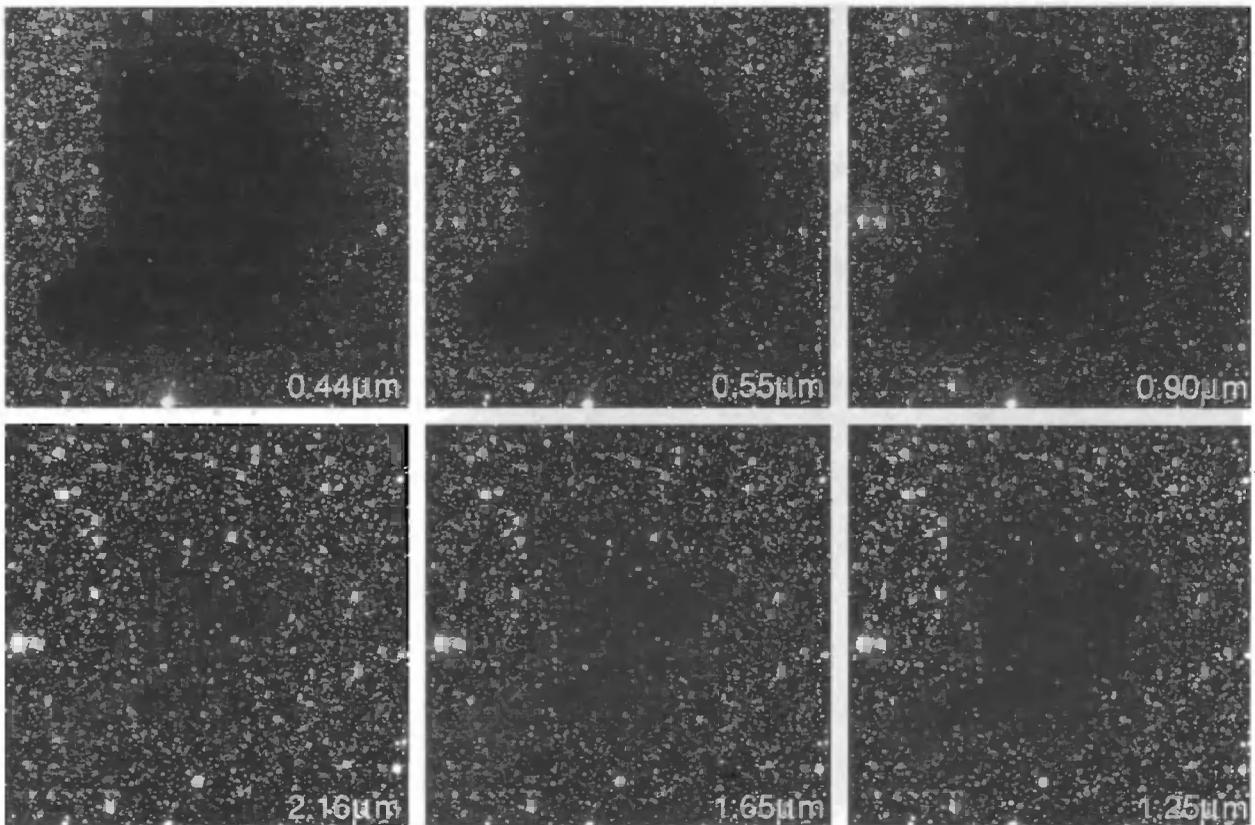
У всех любителей фантастики сочетание слов "черное облако" ассоциируется с названием замечательного романа Фреда Хойла. А всем астрономам эти два слова указывают на самые потаенные места в Галактике, где в темных глубинах гигантских газо-пылевых конгломератов происходит скрытый от глаз процесс рождения звезд, а может быть, и еще чего-то, нам пока не известного. Связь между далекими друг от друга областями творчества — литературой и астрономией — в данном случае очевидна: Хойл не простой писатель — он знаменитый астроном. Полстолетия назад он безошибочно угадал один из самых загадочных астрономических объектов, изучение которых до сих пор

продвигалось медленно, несмотря на то что они расположены, по масштабам Галактики, буквально у нас под носом. Телескопы, способные заглянуть внутрь темных облаков, стали появляться только в последнее время.

Особенно впечатляет комплекс инструментов Европейской южной обсерватории (ЕЮО) в Чили: возможности 8.2-метрового рефлектора Анту (Сьерро-Параналь) и 3.5-метрового Телескопа новой технологии (ТНТ, Ла-Силья) демонстрируют шесть снимков темного облака Барнард 68 (В 68), которое расположено в созвездии Змееносца на расстоянии около 500 световых лет от нас. Такие компактные и плотные облака астрономы называют глобулами и считают прямыми предками звезд. Центральная часть глобулы, уплотняясь под гравитирующим

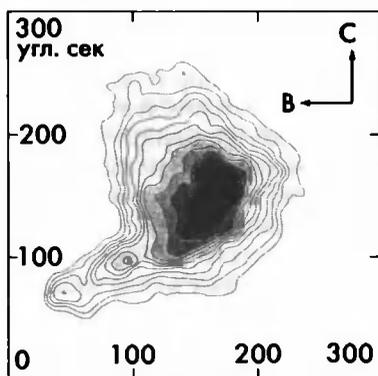
действием собственной массы, превращается в звезду. Но, к сожалению, в оптический телескоп этот процесс не виден: рассеянные в облаке микронные твердые частицы — пылинки — эффективно поглощают свет. Наружный покров облака сбрасывается в самом конце процесса формирования звезды, когда "дело уже сделано", и нагретые звездой остатки газа разлетаются прочь от места ее рождения.

Глобула В 68 сейчас лишь в начале этого процесса. Ее пылинки в  $10^{11}$  раз ослабляют оптическое излучение, делая его источник совершенно невидимым. Заглянуть в недра глобулы можно только с помощью длинноволнового излучения, которое "не замечает" мелких пылинок. До сих пор это удавалось с помощью радиотелескопов, принимающих излучение молекул межзвездного газа, но ка-



Серия изображений глобулы В 68. Хорошо видно, как облако становится прозрачнее при наблюдении в более длинноволновых диапазонах. По краям, где плотность ниже, появляются изображения звезд.

ESO PR Photos 29b/99 (2 July 1999).



Карта распределения пыли в Черном облаке В 68.

чество изображения у таких инструментов невысокое, так что детальной картины не получалось.

В 1999 г. на телескопах ЕЮО были установлены новые панорамные приемники инфракрасного излучения, дающие изображение по четкости не хуже оптического и при этом глубоко «проникающие» в недра пылевых облаков. Серия изображений глобулы В 68 демонстрирует, как при переходе к более длинноволновому излучению облако выглядит все прозрачнее. Два верхних левых снимка получены в оптических диапазонах: голубом (0.44 мкм) и желто-зеленом (0.55 мкм), а остальные четыре — в инфракрасных диапазонах от 0.9 до 2.16 мкм. По краям видны в основном далекие светила, лежащие за облаком, но не исключено, что некоторые из них находятся в недрах самого облака (это еще предстоит установить).

По серии этих изображений построена карта распределения пыли в недрах облака и подсчитана ее полная масса — около 0.03 массы Солнца, т.е. около  $6 \cdot 10^{28}$  кг. При обычном для нашей Галактики соотношении между массами пыли и газа в межзвездной среде (1:100) полная масса глобулы оценивается в 3 массы Солнца. Поскольку масса типичной звезды раза в 3—4 меньше солнечной, можно ожидать, что в этой глобуле рождается группа из дюжины звезд.

Научиться видеть сквозь пыль — давняя мечта астрономов. Заполненный пылевыми облаками диск Галактики, в котором располагается Солнце, скрывает от нас примерно четверть небесной сферы, т.е. четверть Вселенной! Эта *Terra incognita* теперь становится доступнее, хотя до полной победы над пылью еще предстоит немало работы. Только сейчас впервые мы смогли увидеть кусочек неба, лежащий за плотным пылевым облаком. Это сулит не меньшие перспективы, чем применение рентгеновских лучей в медицине.

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

## Планетология

### Атмосфера и полярные сияния на Ио

То, что Ио, спутник Юпитера, имеет газовую оболочку — не новость. Изучая ее свечение в диапазонах от микроволнового до ультрафиолетового, выяснили, что в этой разреженной атмосфере преобладают молекулы  $\text{SO}_2$  и соответствующие продукты диссоциации —  $\text{SO}$ ,  $\text{O}$  и  $\text{S}$ . Были обнаружены обширные нейтральные облака, содержащие атомы  $\text{O}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ , которые не удерживаются гравитацией и покидают атмосферу Ио.

Космический телескоп им.Хаббла, исследуя в далекой ультрафиолетовой части спектра полярные области Ио, зафиксировал излучение от интенсивных полярных сияний. Затем, наблюдая Ио в моменты покрытия этого спутника Юпитером, приборы «Вояджер-1» обнаружили излучение в видимой части спектра. Так возникло предположение, что ключевую роль в полярных сияниях на Ио играют молекулы  $\text{SO}_2$ .

Наконец, данные о свечении в атмосфере над полярными областями спутника Юпитера были получены зондом «Галилео», который находится на околоюпитерианской орбите с декабря 1995 г. Их проанализировала международная группа ученых,

в том числе П.Э.Гейсслер, А.С.Мак-Юэн, У.Ип и Т.В.Джонсон (P.E.Geissler, A.S.McEwen, W.Ip, T.V.Johnson). Наблюдения с помощью приборов «Галилео» отличаются от прежних значительно большей четкостью и разнообразием ракурсов. Они проводились во время 16 затмений спутника диском Юпитера. Хотя основной целью ставилось изучение тепловой эмиссии из центров вулканической активности Ио, однако попутно при этом впервые появилась возможность получить и подробную картину возбуждения полярных сияний на одном из удаленных от нас объектов Солнечной системы.

В видимой части спектра установлено наличие трех компонент. Интенсивное излучение в синем участке связывают с процессами, которые сопровождают нередкие на Ио вулканические столбообразные выбросы. Вероятно, оно порождается возбуждением молекул  $\text{SO}_2$  электронами. Менее интенсивное излучение в красном участке объясняют присутствием в области над полюсом Ио атомарного кислорода. Дело в том, что именно эта область спутника оказывается приближенной к магнитопазменному тору Юпитера — кольцеобразному облаку заряженных частиц (в основном ионов серы и кислорода), захваченных магнитным полем планеты. Плазма вращается вместе с этим полем и постоянно пополняется притоком молекул с Ио. Наименее интенсивное излучение в зеленом участке спектра исходит главным образом от ночной стороны Ио; оно, вероятно, порождается возбужденными атомами натрия. Отмечено также, что суммарное излучение от всего диска Ио убывает после начала затмения, в то время как локальное синее свечение, наоборот, становится более ярким.

Дальнейшие наблюдения должны привести к более точному пониманию механизмов возбуждения столь ярких и «цветастых» полярных сияний на этом спутнике Юпитера.

Science. 1999. V.285. №5429. P.870 (США).

## Озонная дыра поставила рекорд

Южнополярной весной 1998 г. озонная дыра достигла рекордной площади — примерно 26 млн км<sup>2</sup>, что приблизительно втрое превышает территорию Австралии. В середине августа началось резкое истощение озоносферы, максимум которого наступил 21 сентября. По данным, полученным с зондов, почти полное разрушение озона отмечалось на высотах 14—22 км.

Исследуя это явление совместно с австралийскими коллегами, одна из его первооткрывателей С.Соломон (S.Solomon) установила, что химические реакции, разрушающие озон, происходят на поверхности ледяных кристаллов и любых иных частиц, попавших в высокие стратосферные слои над полярными районами<sup>1</sup>. Так, до сих пор способствуют образованию озоновых дыр твердые частицы, попавшие в стратосферу еще в 1991 г. при извержении вулкана Пинатубо на Филиппинских островах. Эти частицы вулканического происхождения придают хлору, поступающему в атмосферу с аэрозолями хлорфторуглеводородов, большую эффективность в процессах разрушения ими озоносферы.

Химические реакции с участием сульфатных частиц, извергнутых вулканом, значительно ускоряют истощение озона над Южным полушарием Земли: согласно наблюдениям, реакции ускорялись почти на 3%, и только теперь данный эффект начал исчезать.

По мнению исследовательницы, антарктическая озонная дыра и круглогодичное общее истощение земной озоносферы будут продолжаться, пока кон-

центрация хлорфторуглеводородов и галогенов в атмосфере не снизится до уровня 70-х годов. И это может случиться лишь в середине следующего столетия.

Atmosphere. Newsletter of CSIRO. 1999. №6. P.10 (Австралия).

## Физика. Организация науки

### BESSY переедет на новую квартиру

Долгое время в пригороде Берлина работал циклический электронный ускоритель BESSY-1a, предназначенный для получения мощных пучков синхротронного излучения. Этот синхротрон использовался в самых разнообразных исследованиях — от физики твердого тела до структурной биологии. Сейчас в мире работает около 45 подобных источников синхротронного излучения, еще 11 строятся и 16 разрабатываются. Большинство из них значительно совершеннее в техническом отношении, чем уже устаревающая BESSY-1a. В ряде случаев вполне пригодные к работе “старые” синхротроны переданы странам, которые не имеют возможности построить собственные ускорители, но в состоянии проводить на них достаточно эффективные исследования. Так, Япония передала свой синхротрон Таиланду, Нидерланды — Объединенному институту ядерных исследований в России (г.Дубна). Теперь аналогично собирается поступить Германия, готовящаяся заменить свой ускоритель BESSY-1a более совершенным BESSY-2.

В связи с этим в Лондоне и Париже под эгидой ЮНЕСКО состоялись совещания немецких ученых с представителями заявивших о своей заинтересованности стран — Ирана, Египта, Турции, Кипра, Палестинской автономной территории. По условиям передачи эта установка должна быть доступна для использования специалистами любой страны мира, т.е. “служить фактором

международного взаимопонимания”, как подчеркнул глава ЮНЕСКО Ф.Майор (F.Mayor).

Центр ускорителей в Гамбурге выразил готовность оснастить синхротрон новыми вакуумной системой и контрольной аппаратурой, а также построить помещения для магнитов, которые фокусируют пучок электронов, доводя яркость синхротронного источника до необходимой величины. Это повысило привлекательность BESSY-1a для его вероятных получателей, между которыми развернулось соревнование. Один из “фаворитов” — Вилфлемский университет на Западном берегу Иордана (Палестина); решение в его пользу увязывают с предоставлением гарантии для работы здесь израильских ученых, имеющих наибольший во всем регионе опыт таких исследований.

По оценкам немецких ученых, для усовершенствования BESSY-1a потребуются около 10 млн амер. долл., столько же — для создания инфраструктуры на новом месте и около 4 млн — на текущие расходы. Донорами, возможно, станут ЕС и США (деньги предполагается взять из фондов, предназначенных на общую помощь Ближнему Востоку в целях развития там мирного процесса); вероятно участие и нефтедобывающих государств этого региона.

Подготовка научного персонала развивающихся стран для проведения исследований осуществляется в Международном центре теоретической физики им.Абдуса Салама в Триесте (Италия). Обученные там специалисты уже активно работают в Таиланде на бывшем японском ускорителе и в Бразилии, где создан собственный. Не исключено, что такие курсы организует и Министерство энергетики США.

Освобождаемые под Берлином помещения предполагается отдать крупнейшему германскому Музею истории науки при Обществе им.Макса Планка.

Science. 1999. V.284. №5423. P.2077 (США).

<sup>1</sup> См. также: Механизм образования озоновых дыр // Природа. 1997. №9. С.142; Естественные причины возникновения озоновых дыр // Природа. 1998. №6. С.107.

## Личинки коралловых рыб остаются на месте

Для большинства морских животных, ведущих придонный образ жизни, характерны планктонные личинки, разносимые течениями на расстояния, казавшиеся до недавнего времени просто огромными. Количественные оценки процесса пассивного расселения практически отсутствуют. Однако весьма ограниченные ареалы некоторых животных и четкие различия между локальными популяциями одного вида свидетельствуют, что планктонные личинки, возможно, и не уносятся течениями слишком далеко от мест, где обитали их родители. Это предположение недавно было подтверждено работами двух групп ученых, проводивших свои исследования в разных местах и разными методами.

Специалисты из Университета в Санта-Барбаре (Калифорния) исходили из представлений, что личинки рыб, развивающиеся в богатых кормом прибрежных водах, должны расти быстрее, чем те, которых течения уносят в открытый океан<sup>1</sup>. Кроме того, у личинок прибрежных вод в отолитах (твердых образованиях из карбоната кальция во внутреннем ухе) должны в большем количестве накапливаться такие микроэлементы, как марганец, медь, барий, свинец и цинк (в открытом океане их всегда очень мало).

Исследования проводились на коралловых рифах в северо-западной части Карибского моря, объектом служила обычная для этих мест рыба *Tbalassoma bifasciatum* из семейства губановых. Развитие ее на стадии планктонной личинки занимает примерно 45 дней — время, достаточное, чтобы быть отнесенной течениями на очень боль-

шое расстояние. С.Суирер и его коллеги проанализировали размер тела и структуру отолитов более чем у 200 личинок *Tbalassoma*, пойманных с наветренной и подветренной сторон рифа. Определив возраст личинок по ежедневно откладываемым “кольцам нарастания” на отолитах, они обнаружили, что особи, пойманные с наветренной стороны, т.е. принесенные с других островов и развивавшиеся в удалении от берегов, росли существенно медленнее, чем пойманные с подветренной и скорее всего не удалявшиеся на слишком большие расстояния от родных мест. Накопленное количество микроэлементов в отолитах рыб, развивающихся в прибрежье, было выше, как то и предсказывала гипотеза. Но самое интересное: неожиданно высокой (около 50%) оказалась доля личинок, полное развитие которых протекало рядом с местом обитания их родителей.

Участники австралийской группы<sup>2</sup> использовали для оценки доли личинок, остающихся около рифа, “более прямой”, но и гораздо более трудоемкий метод. Изучая планктонных личинок рыбы *Pomacentrus amboinensis* (из семейства помацентровых) на рифах, которые окружают один небольшой (5×3 км<sup>2</sup>) остров в районе Большого Барьерного Рифа, они метили развивающиеся икринки флуоресцентным красителем. Для этого сначала в нескольких местах, преимущественно с наветренной стороны и недалеко от берега, они размещали пластиковые пластины, на которые рыбы охотно откладывали икру. Затем кладки осторожно переносили в слабый раствор тетрациклина и после часовой экспозиции возвращали на место. Пребывание в тетрациклине значимо не влияло на выживание икры и личинок, но оставляло в отолитах четко выявляемую

флуоресцирующую метку. Всего таким образом было помечено около 10 млн икринок. Спустя некоторое время исследователи отловили около острова более 7 тыс. личинок *Pomacentrus*. Из них 5 тыс. случайно выбранных были препарированы с целью извлечения отолитов, которые затем просматривали под флуоресцентным микроскопом.

Поистине титанические усилия исследователей увенчались успехом — у 15 личинок были обнаружены хорошо заметные тетрациклиновые метки, и хотя они составляли всего 0.3% обследованной выборки, пересчет на общее количество икры, развивающейся вокруг острова (по приблизительным оценкам оно в 50—200 раз превышало количество меченой икры), показал, что доля планктонных личинок, не уносимых течениями и остающихся в тех же самых местах, составляет 15—60% всей популяции.

Полученные данные имеют огромное практическое значение, поскольку позволяют правильно планировать как промысел морских животных с пелагическим личиночным развитием, так и мероприятия по их охране.

© А.М.Гилдров,

доктор биологических наук,  
Москва

## Мутантные мыши живут дольше

Извечная мечта человечества — найти уж если не секрет бессмертия, то хотя бы способ продления жизни. В экспериментах на животных установлено: если все время их кормить малокалорийной пищей, они живут дольше. Правда, при этом у них ухудшаются некоторые функции организма, в первую очередь — способность к воспроизводству (с большой вероятностью это справедливо и для людей, к примеру, чересчур увлекающихся вегетарианством). Экспериментально получены карликовые мыши, живущие дольше обычных, но у них снижена функ-

<sup>1</sup> Swearer S.E., Caselle J.E., Lea D.W., Warner R.R. // Nature. 1999. V.402. P.799—802.

<sup>2</sup> Jones G.P., Milicich M.J., Emslie M.J., Lunow C. Self-recruitment in a coral reef fish population // Ibid. P. 802—804.

ция размножения. Ученые не оставляют надежду найти ген долголетия, который продлевал бы жизнь без нежелательных побочных эффектов.

В какой-то степени это удалось итальянским и американским исследователям. Они получили мышей с точечной мутацией гена, который кодирует белок р66<sup>hsc</sup>. Эти мыши не отличались от контрольных ни массой тела, ни физическим развитием, ни способностью к воспроизводству, но продолжительность их жизни увеличивалась на треть.

Белок р66<sup>hsc</sup> участвует в ответе организма на факторы, вызывающие окисление (перекись водорода, радиация, ультрафиолетовый свет). При этом начинают окисляться важные для жизнедеятельности вещества, такие как липиды клеточных мембран. Этот процесс сопровождается, как правило, большинством патологических состояний, например старение. Стрессовый ответ организма выражается в повреждении или запрограммированной гибели клеток (апоптозе).

У полученных исследователями мутантных мышей ген, кодирующий р66<sup>hsc</sup>, не работает. Оказалось, что они более устойчивы к действию факторов, вызывающих окислительный стресс, и превосходят контрольных мышей по продолжительности жизни: контрольные жили не более 28 мес, а мыши-мутанты — в среднем на 30% дольше. При этом мутанты ничем не отличались от контрольных ни в поведении, ни при выполнении различных тестов. Последующий гистохимический анализ не выявил у них никаких отклонений и в строении органов.

Гены, влияющие на окислительный стресс в организме и одновременно увеличивающие продолжительность жизни, ранее были найдены у мутантных форм нематод, дрожжей и дрозофилы. Открытие такого механизма у млекопитающих очень важно для понимания общности основ старения и возможности его контроля.

Nature. 1999. V.402. P.309–312 (Великобритания).

## Еще одна герпетофаунистическая находка в Европе

Удивительно, но в Европе, где, казалось бы, уже давно не осталось мест, не обследованных ботаником или зоологом, все еще встречаются не известные науке виды. Очередное подтверждение тому — замечательная находка немецкого герпетолога В.Бёме и его коллег<sup>1</sup>. Касается она, пожалуй, самых экзотических для Европы ящериц — хамелеонов.

Хамелеоны — удивительные и совершенно необычные ящерицы. Одно время их даже выделяли в самостоятельный подотряд чешуйчатых пресмыкающихся. Из-за причудливого облика и своеобразного поведения люди наделяют хамелеонов мистическими свойствами, а само название этих животных во многих языках стало нарицательным. В настоящее время семья хамелеонов насчитывает около 80 видов, обитающих главным образом в Африке и на Мадагаскаре. Лишь один вид — обыкновенный хамелеон (*Chamaeleo chamaeleon*) — проник в Южную Европу и Азию. В Европе эта ящерица относится к видам, находящимся под угрозой исчезновения, и охраняется госу-

<sup>1</sup> Böhme W. // Herpetozoa. 1998. Bd.11. №1–2. S.87–91.

дарственными и международными законами.

Так вот, летом 1997 г. группа европейских герпетологов посетила место обитания единственной известной в материковой части Греции популяции хамелеона. Ученым удалось найти и сфотографировать двух ящериц, но каково же было их удивление, когда выяснилось, что найденные экземпляры не имеют весьма характерных для обыкновенного хамелеона признаков.

Специалисты легко установили, что в окрестностях Пелопоннеса живет другой вид — африканский хамелеон (*Ch.africanus*). В природе он представлен двумя подвидами, но чтобы определить, к какому из них относится обнаруженная популяция (которая, впрочем, может представлять собой и еще одну, третью природную форму), нужно провести специальное исследование. Пока же гораздо важнее хотя бы сохранить новый для Европы вид. Ведь эта единственная на материковой части Греции популяция хамелеонов, по-видимому, очень невелика и, к несчастью, обитает в оживленном туристическом месте, где ее выживание крайне проблематично. Авторы предлагают срочно организовать охрану места обитания африканского хамелеона и включить этот вид в списки особо охраняемых животных Греции и Европы.

Видимо, африканский хамелеон был завезен в Европу челове-



Найденный в Греции африканский хамелеон.

ком (как и некоторые другие виды африканской фауны) и прижился в местах с теплым средиземноморским климатом. Возможно, это произошло в античные времена. Поскольку попавшие в Европу ящерицы уже давно живут в отрыве от основного ареала своего вида, понятно, почему найденные особи по некоторым признакам (окраске, размерам) заметно отличаются от их африканских собратьев.

**О Д.В.Семенов,**  
кандидат биологических наук  
Москва

## Экология

### **Белухи в ледовых ловушках**

30 мая 1999 г. американский эколог М.Рамсей (M.Ramsay) совершал на вертолете облет забитого льдами пролива Ланкастер (Канадский Арктический архипелаг). Его внимание привлекла группа из 25 белых медведей, собравшихся у близко расположенных друг от друга лунок-разводий, в которых, теснясь, барахтались 40 белух, оказавшихся в ледовой западне. Животных отделяло от свободной воды немногим более 8 миль, но такое расстояние эти киты преодолеть не могут без подъема к поверхности для вдоха.

Рамсей заметил на телах белух множество ран и шрамов, полученных ими от белых медведей. Приземлившись, он выстрелил пулями-транквилизаторами и удачно поразил одного медведя и двух медведиц. Масса медведя оказалась 470 кг — столь крупных самцов Рамсею в его продолжительной практике еще не встречалось. Медведицы же вдвое превышали их обычный для весеннего периода вес. Их желудки оказались буквально забиты ворванью белух. Таким образом, белые медведи насытились настолько, что могли бы безбедно существовать в течение целого года.

Изучая спутниковые снимки ледовой обстановки в проливах архипелага, Рамсей установил, что ледовая ловушка возникла

между 14 и 23 апреля во время мощного шторма. Белухи в поисках богатых кормами вод заплыли в пролив Ланкастера из Баффинова пролива, на их пути уже было достаточно разводий, образовавшихся при весенней подвижке и таянии льдов. Но позднее ветры сплотили льды, и белухи на 60 сут оказались в западне.

Подобная же ледовая ловушка возникла в 100 милях к северу, в проливе Джонс, где еще бóльшая группа медведей полакомилась беспомощными белухами.

National Geographic. January 2000. P.10 (США).

## Экология. Геология

### **Радиоактивные отходы предлагается хранить в Нью-Мексико**

В 50-х годах эксперты-геологи пришли к убеждению, что соляные пласты могут служить одним из наиболее подходящих мест для хранения радиоуклидов. Возникнув в результате испарения древних морей и претерпев сильное уплотнение, они стали практически непроницаемы. Кроме того, они способны "залечивать" полученные механические повреждения и "устранять" проникающую влагу.

В 1970 г. Комиссия по атомной энергии США (ныне Министерство энергетики) сочла подходящим местом для создания хранилища заброшенную соляную шахту около г.Лиона в штате Канзас. К тому времени в США уже накопились высокорadioактивные, отработанные на электростанциях, топливные элементы, жидкие низкорadioактивные отходы военной промышленности и загрязненные плутонием одежда, инструменты и т.п. Они сохраняют радиоактивность в течение сотен тысяч лет, что требует их длительнейшей изоляции. Однако детальное изучение геологии в районе канзасского Лиона показало его непригодность для подобных целей: в минувшие годы здесь было пробурено множество скважин на нефть и газ; оставшиеся незамеченными, некоторые из них мог-

ли бы привести к опасной утечке радиоуклидов. Поэтому Комиссия отвергла данный район, и группы специалистов из Окриджской национальной лаборатории и Геологического управления США были направлены на поиски нетронутых соляных отложений в различных регионах страны. В 1973 г. таким был признан бассейн Делавэр на юго-востоке штата Нью-Мексико.

Первый пункт изысканий казался в геологическом отношении вполне подходящим: здесь под засушливой поверхностью с редким кустарниковым покровом залегают мощным 300-метровым слоем глины, мелкоземные алевроиты и другие осадочные породы, под ними — 600-метровый слой соли. Однако дальнейшее бурение показало, что соляной слой имеет природные нарушения и в некоторых местах превратился в вертикальный; более того, под слоем соли был вскрыт "карман" с находящимся под давлением рассолом, который немедленно хлынул на поверхность. Если бы это случилось уже после размещения там хранилища, радиоактивные материалы серьезно загрязнили бы окружающее пространство. Руководитель проекта геофизик У.Уирт (W.Weart), вопреки традициям Министерства энергетики США, открыто поделился этой информацией с общественностью, что повысило ее доверие к дальнейшим выводам и предложениям участников работ.

В 1981 г. бурение было произведено в иной точке бассейна Делавэр, но и там на поверхность поступал рассол. Геолог Р.Андерсон (R.Anderson), постоянный критик проекта, указал, что грунтовые воды, проходящие к западу от данного места, проложат себе путь в хранилище, растворят часть солей и нарушат его герметичность. Министерство энергетики затратило несколько миллионов долларов на детальное гидрогеологическое обследование этой местности. Оказалось, что фонтан рассола вырвался из резервуара, изолированного самой природой, так что подобных явлений можно избе-

жать простым переносом пункта на небольшое расстояние. Дабавочное бурение позволило опровергнуть предположение Андерсона об угрозе растворения соляных пластов подземными водами. Были получены детальные ответы на все 116 вопросов, поставленных различными специалистами и общественностью.

После 25-летних исследований Управление по охране среды США выдало в мае 1998 г. сертификат, разрешающий создать вблизи Карлсбада (Нью-Мексико) Экспериментальное предприятие по изоляции радиоактивных отходов, скопившихся на территории США. Срок их безопасного содержания установлен в 10 тыс. лет, хотя многие специалисты считают, что ничего опасного не произойдет здесь и в течение многих десятков тысяч, если не миллионов, лет. Необходимо только принять меры, чтобы наши далекие потомки не приступили в этой местности к бурению.

С апреля 1999 г. Экспериментальное предприятие получило право принять к хранению первый груз отходов низкой радиоактивности<sup>1</sup>.

Science. 1999. V.283. №5408. P.1626 (США).

## Геология

### Алмазные месторождения на Украине?

Богатейшие месторождения алмазов на Африканской платформе известны давно; в середине XX в. крупные месторождения открыты на Сибирской платформе, а в конце XX в. — на севере Русской платформы (в Архангельской обл.), именно это вселяло надежду, что они возможны и на юге Русской платформы — на Украине. Первый алмаз на Украине был найден в 1949 г. Затем в олигоцен-миоценовых и плиоценовых песках, отлагавшихся соответственно около 30—15 и 5—2

млн лет назад, обнаружили тысячи мелких (до 0.5 мм) кристаллов и обломков алмазов; самый крупный (3.6×3.6×3 мм<sup>3</sup>) найден в бассейне Буга. Однако все это алмазы из давно разрушенных (30—2 млн лет назад) коренных источников. Поскольку в песках алмазы сильно рассредоточены, почти полвека стоит вопрос о поисках целостных коренных источников и связанных с ними месторождений.

На Международной конференции “Прогнозирование и поиски коренных месторождений алмазов” (Крым, 21—23 сентября 1999 г.) обсуждались результаты проведенных геолого-поисковых работ<sup>1</sup>. По минералогическим признакам установлено кимберлитовое, импактное и метаморфогенное происхождение найденных в песках алмазов. Определены перспективные площади коренных источников двух первых типов: они находятся в основном в правобережной Украине и только в Северо-Западном Приазовье переходят на левый берег Днепра.

На северо-западе Приазовья обнаружены три кимберлитовые трубки: Надя (60×30 м<sup>2</sup>), Новолапинская (100×40 м<sup>2</sup>) и Южная (300×150 м<sup>2</sup>). Судя по их тектоническому положению, богатых месторождений ожидать не приходится. Кроме того, они сильно разрушены: сохранились лишь корневые, наиболее бедные алмазами части; надеяться можно только на алмазы, переотложенные в пески и галечники перекрывающих пород. На Волынском поднятии кимберлиты пока не выявлены, но в перекрывающих отложениях найдены алмазы и их минералы-спутники — пиропы, хромшпинелиды и т.п. Тектонические предпосылки обнадеживающие. Геологическими и геофизическими методами оконтурены две площади, благоприятные для поисков месторождений, связанных с погребенными кимберлитами. ↘

Импактные алмазы образуются в кратерах от крупных метеоритов — в астроблемах<sup>2</sup>. Энергия

удара метеорита весом более 10 тыс. т превышает энергию самых мощных ядерных взрывов. При этом в углеродсодержащих породах (преимущественно в графите) образуются мелкие (до 50 мкм, в исключительных случаях до 1 см и более) зерна — композиции из тончайших кристаллов алмаза. Импактные алмазы идут на производство абразивных порошков (по твердости в 1.2—2.2 раза превосходят порошки из искусственных алмазов) и сверхтвердых материалов. Алмазы, пригодные для ювелирных целей, не образуются. На Украине импактные алмазы известны в Белиловской и Южной астроблемах.

Белиловская, расположенная на юге Житомирской обл., имеет кратер диаметром 5—5.5 км. Возраст импактитов 165±6 млн лет. Именно тогда метеорит упал на Землю. Выявлены богатые разности с содержанием крупных, более 50 мкм, алмазов (9.8 карат на 1 т породы) и прогнозными ресурсами — 13.7 млн карат; в тех же породах с мелкими зернами (мельче 50 мкм) содержится 50 млн карат (36.5 карат на 1 т породы). Расчеты показали, что добыча их для получения абразивного порошка нерентабельна, но оправдана для изготовления сверхтвердых материалов. Пока не решены технологические проблемы по извлечению алмазов из породы и выяснению параметров месторождения.

Западная астроблема (2.1×2.3 км<sup>2</sup>), которая находится у пос.Ружина, в бассейне р.Раставеци, изучена менее детально.

От обоснования вероятности обнаружения месторождения до его реального открытия проходят годы, а часто и десятилетия. Однако материалы конференции вселяют надежду, что в достаточно близком будущем Украина, возможно, получит собственные месторождения алмазов.

© С.А.Лаужин,

доктор геолого-минералогических наук, Москва

<sup>1</sup> См. также: В США заработало долговременное хранилище слабордиоактивных отходов // Природа. 1999. №3. С.117.

<sup>1</sup> Наиболее интересные из них отражены в журн.: Мінеральні ресурси України. 1999. №3.

<sup>2</sup> См.: М а с а й т и с В. Л. Сотворены силами небесными... // Природа. 1999. №9. С.79—88.

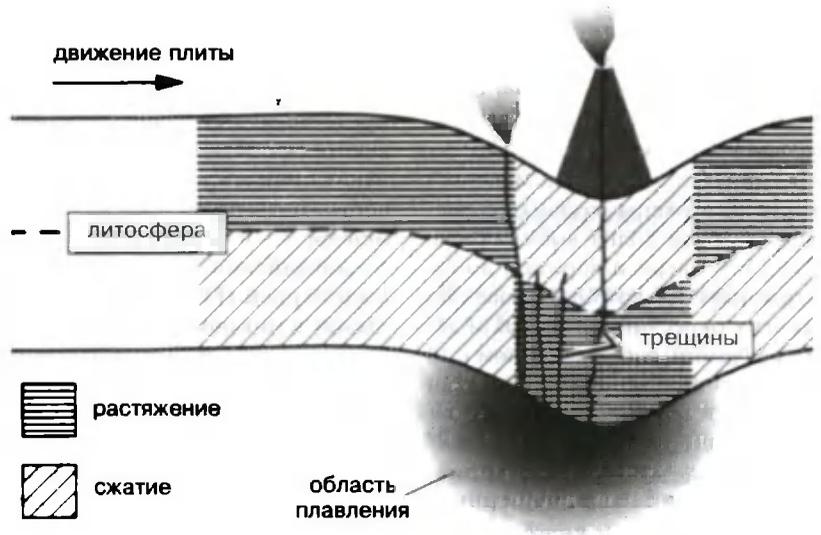
### Закономерности расположения вулканических островов

Характер расположения и закономерное увеличение геологического возраста островов, входящих в состав вулканических дуг (таких, например, как Гавайско-Императорская цепочка), хорошо объясняются равномерным движением тектонических плит земной коры над стабильными "горячими точками" в мантии. В меньшем масштабе следы "горячих точек" проявляются в грядах прерывисто разбросанных островов вулканического происхождения, размещенных в соответствии с мощностью литосферы. Более того, эти гряды часто не образуют одну линию, а составляют парные дуги, как это имеет место в Гавайском архипелаге, где прослеживаются островные последовательности Кеа (по вулкану Мауна-Кеа) и Лоа (по вулкану Мауна-Лоа).

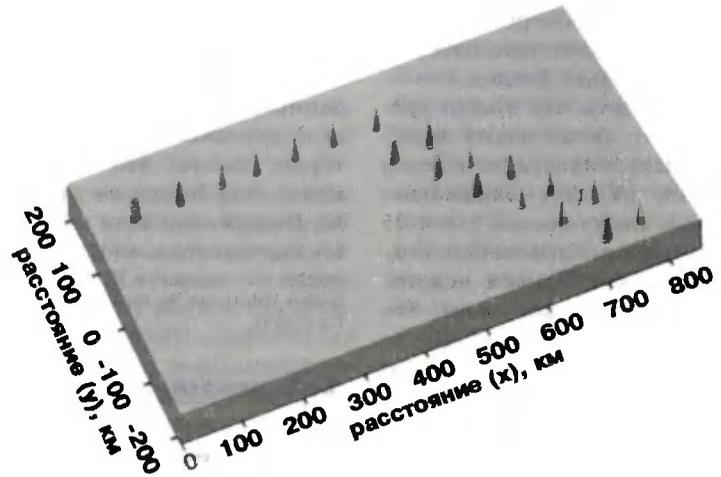
Динамика образования вулканических островов стала предметом исследования специалистов по геотектонике К.Ф.Иеронимуса и Д.Берковичи (С.F.Hieronimus, D.Berkovici).

Они исходили из предположения, что дистанцию между островами должны определять изгибы литосферы, и построили нелинейную модель образования трещин, которая связывает магматический поток, обеспечивающий рост вулканов, с напряжениями в участках изгиба плит. Предполагается, что изгибание возникает под тяжестью вулканических построек.

Результаты моделирования показали, что при стабильном мантийном источнике, который находится под перемещающейся литосферной плитой, расплавленные материалы периодически прорываются к поверхности, порождая цепочку отдельных вулканических сооружений, расположенных эквидистантно (на равных расстояниях) вдоль линии движения плиты. Если же по какой-либо причине (например,



Схема, поясняющая образование трещин в литосфере с последующим ростом вулканической постройки.



Модельные расчеты динамики образования вулканов на литосферной плите, движущейся над "горячей точкой". Координатная сетка "привязана" к плите, поэтому прослеживается движение "горячей точки". Она стартует при  $x=70$  км,  $y=110$  км и перемещается вдоль оси  $x$  со скоростью 10 см/год. В момент прохождения пункта  $x=470$  км, направление движения плиты было изменено на  $45^\circ$ , изменилась и динамика вулканообразования: возникли две последовательности, выстраивающиеся попеременно.

вследствие изменения направления движения плиты) вулкан возникает в стороне от оси островной цепочки, то образовавшаяся асимметрия далее сохраняется на больших расстояниях и на длительное время. В этом случае вул-

канические постройки образуются на двух почти параллельных дугах (как в последовательностях Кеа и Лоа в Гавайской островной дуге).

Nature. 1999. V.397. №6720. P.604 (Великобритания).

## Колима продолжает извергаться

Во втором часу ночи на 10 февраля 1999 г. жители городка Хуан-Барраган (Западная Мексика) были разбужены мощным взрывом. Ударная волна выбила окна, отворила двери и ворота в домах. Грохот был слышен во многих окрестных поселках и даже в г.Гусмин, расположенном в 28 км. Так снова заявил о себе вулкан Колима, находящийся в 9 км от Хуан-Баррагана и давно уже числящийся среди наиболее активных вулканов Северной Америки<sup>1</sup>.

Однако такой силы взрыва здесь не отмечали уже 80 лет. В воздух взлетели тучи пепла и раскаленной лавы; на склонах горы (высота 3850 м над ур.м.) возникли лесные пожары, однако большая их часть через 48 ч уже была залита водами таявшего ледника и проливным дождем.

Надо сказать, что вулкан предупреждал о своих новых агрессивных намерениях: в ночь перед событием на двух ближайших сейсмических станциях, в 6 и 25 км от вершины, отмечались подземные толчки, причем некоторые достигали такой силы, что приборы зашкаливали. После взрыва было зарегистрировано еще четыре сравнительно сильных землетрясения.

Сотрудники Гвадалахарского университета (Мексика), наблюдавшие во главе с сейсмологом Ф.Нуньес-Корню (F.Nuñez-Cornú) за развитием событий, обнаружили на дороге в 3 км от вершины, на высоте 3120 м, несколько воронок, образованных падением вулканических бомб. На дне одной из них, площадью 2.0x0.7 м<sup>2</sup> и глубиной 0.6 м, лежал полузарывшийся в грунт блок андезита — эффузивной горной породы, содержащей около 60% кремнекислоты. В момент находки блока его температура еще достигала 40°C. Вокруг стояла неповрежденная группа

деревьев, что указывает на почти вертикальное его падение. В 70 м, на самой середине дороги, лежала еще одна вулканическая бомба, не образовавшая воронки. Она представляла собой вулканическую брекчию — крупнообломочную сцементированную породу, состоящую из угловатых фрагментов.

Английский геодезист Дж.Б.Меррей (J.B.Murray), проведя съемку и нивелирование северного склона Колимы, обнаружил, что поверхность земли растрескалась и сместилась на расстояние до 740 м. По сравнению со съемками 1997 г. произошло проседание почвы на больших площадях (местами до 22 мм), что может быть связано со значительным изменением объема лавы в магматической камере; не исключена иная причина: вулкан мог медленно съезжать в направлении к южным склонам другого, более крупного вулкана Невада.

Анализ вод р.Колимы, проведенный специалистами Колимской вулканологической обсерватории, показал, что их химический состав безопасен для человека. Извержение хотя и ослабело, все еще продолжалось.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1999. V.24. №2. P.6 (США).

## Сейсмология

### Мексиканская система оповещения

С 1995 г. в Мехико — многомиллионной столице Мексики — действует система, подающая сигнал сейсмической опасности. Он транслируется по радио и телевидению с заблаговременностью в одну минуту до наступления первых сейсмических толчков. Каким образом это оказалось возможным осуществить в Мексике? Ведь пока сейсмологам во всем мире не удалось добиться подобного результата в прогнозировании землетрясений.

“Секрет” системы состоит в том, что Мехико удалено от активного центра землетрясений на побережье Тихого океана на рас-

стояние около 300 км. Это обстоятельство позволяет детекторам сейсмических станций, размещенных в зоне частых толчков, фиксировать моменты их возникновения и передавать по радио в столицу. Радиоволны, обгоняя волны сейсмические, приходят в Мехико на одну минуту раньше. Конечно, одна минута — малый временной интервал, но если люди знают, что им следует делать и как себя вести по сигналу тревоги, то и такой срок может спасти многие жизни.

Несмотря на имевшие место случаи поступления “ложных” сигналов, система работает неплохо, оповещая об опасных по силе толчках, происходящих в береговой полосе г.Акапулько, где и развернуты преимущественно сейсмические станции. Однако система не дала предупреждения о сильном землетрясении в Мехико 15 июня 1999 г. — его эпицентр оказался в зоне, не охваченной детекторами.

La Recherche. 1999. №324. P.29 (Франция).

## Гидрометеорология

### Природные катастрофы: итоги 1998 года

Всемирная метеорологическая организация подвела итоги атмосферных и гидрологических экстремальных событий за 1998 г.

На первом месте по трагическим последствиям стоят наводнения, охватившие в августе значительную территорию КНР; такого масштаба явлений здесь не было более 40 лет. Наиболее пострадал центр страны вдоль берегов Янцзы и ее притоков, а также северо-восток — бассейны рек Нен и Сунгари. По сообщениям Министерства водных ресурсов КНР, погибло 3656 человек; пострадали (в том числе материально) 230 млн; 3 млн были вынуждены поселиться во временных убежищах на сохранившихся дамбах; без крова остались 15 млн; столько же крестьян потеряли весь урожай. Разрушено множество больниц, школ, систем связи, водоснабжения и ирригации; серьезно

<sup>1</sup> См.: Нсисловствует вулкан Колима // Природа. 1999. №10. С.117.

пострадали дороги и мосты. В главном нефтедобывающем районе страны Дацин из 10 тыс. скважин залиты водой 1300. По данным ООН, прямые экономические убытки превысили 20 млрд долл. США.

Эта катастрофа, вызванная длительными ливнями, связана с такими явлениями, как Эль-Ниньо—Южная осцилляция и Ланинья, с бурным таянием снегов на Цинхай-Тибетском плато, аномально высоким атмосферным давлением, установившимся в тот период в субтропическом регионе западной акватории Тихого океана, и др. Усугубили событие антропогенные факторы: массовая вырубка лесов, за которой последовали эрозия почв и рост отложений в руслах рек. После наводнений 50-х годов на притоках Янцзы были сооружены дамбы протяженностью во многие тысячи километров, и почти все они оказались размыты и обрушены; на самой Янцзы смыло лишь одну (главную) плотину. В городах были затоплены многие заводы и фабрики — чтобы спасти хотя бы часть из них, пришлось в ряде случаев уничтожить дамбы в сельскохозяйственных районах, позволив воде залить поля.

Таких наводнений северо-восточные провинции КНР (близ границы с Хабаровским краем РФ) не знали за все 20-е столетие. В ряде районов вода покрыла более 60% территории; возникли новые озера площадью 8 тыс. км<sup>2</sup>. И это в регионе, который считается обычно засушливым.

Группа оценки природных катастроф и координации действий при ООН приняла меры к отправке в пострадавшие районы палаток, стройматериалов, медикаментов, пищи, оборудования для очистки питьевой воды и т.п. Эффективно действовало правительство КНР. В помощь пострадавшим Европейский Союз выделил 1 млн экю, которые были направлены в КНР через Международную федерацию обществ Красного Креста и Красного Полумесяца.

Второй по силе катастрофой года оказался ураган "Жорж", об-

рушившийся 20—22 сентября на Малые и Большие Антильские о-ва в Карибском море. Ветер скоростью 185 км/ч (в порывах — до 240 км/ч) сопровождался интенсивными осадками. Были разрушены тысячи жилых домов, нарушена система водоснабжения. По данным продовольственной и сельскохозяйственной организации при ООН, на Кубе потеряна значительная часть урожая, а в Доминиканской Республике и Республике Гаити — около 90% урожая. Помощь жителям островов оказали Пан-Американская организация здравоохранения, а также ЕС, Всемирный банк, правительства Великобритании, Нидерландов и Чили.

Начиная с июля 1998 г. жертвой обширных наводнений в очередной раз стала территория Бангладеш. Под водой на время оказались три четверти страны; 17 млн человек лишились крова, чистой питьевой воды и продовольствия, полторы тысячи погибли.

Вода смыла посевы на 100 тыс. га. Общие убытки составили 4,3 млрд долл. США. По многим сведениям, это — крупнейшее наводнение в истории Бангладеш. На совместном заседании представители Всемирного банка, Банка развития Азии и Программы развития ООН разработали план помощи и восстановления Бангладеш как за счет международных организаций, так и путем переадресовки части средств, ранее выделенных для развития этой страны.

Последней гидрометеокатастрофой 1998 г. был ураган "Митч", пронесшийся осенью над Центральной Америкой. Наиболее пострадали Гондурас, Сальвадор, Гватемала, Никарагуа; несколько меньше — Мексика, Коста-Рика и Панама, а также юг штата Флорида (США). Это бедствие в еще большей мере усугубило общую бедность населения центрально-американских стран, не оправившихся от гражданских войн 80-х годов. По призыву генерального секретаря ООН помощь им была оказана рядом международных банков и организаций.

Всемирная метеорологическая организация интенсифицировала свои усилия в области изучения экстремальных природных явлений, их прогноза и противодействия им.

Stop Disasters. 1999. №34. P.5 (Италия).

## Палеонтология

### Ископаемому коню в зубы смотрят

Согласно принятым в палеонтологии представлениям, предки современных лошадей, жившие более 20 млн лет назад, имели зубы с низкой коронкой. Данные о строении всего челюстного аппарата показывают: лошади питались мягкой лиственной кустарников, молодыми побегами и свежими почками. Когда климат, а за ним и характер растительного покрова изменились, лошади повсеместно и довольно быстро адаптировались к новым условиям, и коронка у зубов стала высокой, более приспособленной к поеданию подножного корма — травы.

Проверкой этой теории занялась группа специалистов, возглавляемая палеонтологом Б.Мак-Фадденом (B. MacFadden), при участии Н.Солуниаса (N. Solounias) и Т.Серлинга (T.E. Serling). Они изучили остатки зубов, принадлежавших различным видам ископаемых лошадей, которые обитали в Центральной Флориде пять и более миллионов лет назад. Известно, что изотопный состав углерода зубной эмали жвачных животных зависит от того, щипали ли они траву или паслись среди кустарниковых зарослей.

У всех шести видов зубы были длинными, а коронки высокими, так что их следовало бы отнести к травоядным. Однако соотношение изотопов углерода в эмали, а также характер микроскопических ямок и царапин на зубной поверхности свидетельствовали, что в действительности тогда могли существовать лошади, у которых диета была смешанной.

Science. 1999. V.283. №5403. P.773, 824 (США).

# Тайна Хоутерманса

Ю.Н.Ранюк,

доктор физико-математических наук  
Харьков

Прежде чем начать разговор о книге, вспомним добрым словом ее автора, Виктора Яковлевича Френкеля, известного историка физики, который внезапно скончался 8 февраля 1997 г. в С.-Петербурге в расцвете творческих сил и замыслов. Он родился в Ленинграде 22 февраля 1930 г. Сын Я.И.Френкеля, выдающегося советского физика-теоретика. Окончил Ленинградский политехнический институт. Работу начал на Радиоламповом заводе, а в 1959 г. перешел в Физико-технический институт. До 1973 г. занимался математической физикой и физикой плазмы. Увлечен историей науки, ярко расцвел его литературный талант. Он опубликовал 40 книг и свыше 300 статей по истории физики.

В последние годы Френкель особенно много внимания уделил физикам, которые были «персонами нон грата» в Советском Союзе. Имеются в виду в первую очередь Матвей Бронштейн, Георгий Гамов, Фридрих Хоутерманс, Александр Вайсберг, Всеволод Фредерикс и др.

Виктор Яковлевич был открыт для друзей, он всегда рад был помочь своим коллегам.

© Ю.Н.Ранюк

Лучшего рецензента по истории физики, доброжелательного и квалифицированного, невозможно было найти. Неслучайно книги и статьи многих исследователей содержат благодарность Френкелю за критические замечания и полезные советы. Последняя книга Френкеля, издания которой ему уже не довелось увидеть, посвящена известному немецкому физiku, человеку необычной судьбы, Фридриху Хоутермансу (1903—1966).

Фридрих Георг Хоутерманс родился 22 февраля 1903 г. в Цоппоте (ныне польский курорт Сопот). Образование получал в Венской академической гимназии, позднее, в 1922—1927 гг., изучал физику в Геттингенском университете, в то время крупном центре физической и математической науки. После его окончания Хоутерманс остается в Геттингене и работает у нобелевского лауреата Д.Франка, в 1928 г. получает степень доктора, позже становится ассистентом Высшей технической школы в Берлине у другого нобелевского лауреата — Г.Герца. В Геттингене состоялось его знакомство с аспирантом Ленинградского университета Георгием Гамовым. В 1928 г. они опубликовали



**В.Я.Френкель.**  
**Профессор Фридрих Хоутерманс:**  
**работы, жизнь, судьба**

Отв. ред. Ж.И.Алферов.  
СПб.: ПИЯФ РАН, 1997. 200 с.

классическую работу о квантово-механических аспектах радиоактивного распада атомных ядер. Спустя год Хоутерманс и Роберт Аткинс высказали мысль о термоядерном характере энергии звезд. Это было высшее научное достижение Хоутерманса. Он также принимал участие в создании первого электронного микроскопа. В 1973 г. на конференции астрофизиков в Сиднее одному из кратеров на Луне было присвоено имя Хоутерманса<sup>1</sup>.

В 1933 г. ученый перебирается в Англию, где с помощью Петра Капицы устраивается на работу в фирму грамзаписи. Покинуть Германию его заставил фашизм — еще в 1928 г. он стал членом Коммунистической партии. По приглашению директора Украинского физико-технического института (УФТИ) А.М.Лейпунского, который находился в то время в длительной научной командировке в лаборатории Резерфорда, Хоутерманс с женой и ребенком переезжает в Харьков и уже с февраля 1935 г. работает в должности научного руководителя ядерной лаборатории. Основная тематика его исследований — нейтронная физика.

В Харькове в это время трудилась группа европейских физиков: теоретики Ласло Тисса и Георг Плачек, экспериментатор Мартин Руэмманн, инженер Александр Вайсберг, ядерщик Фридрих Ланге. Ядерные исследования в Харькове — колыбели советской ядерной физики — были в это время на высоте. В 1932 г. харьковские физики осуществили опыт по расщеплению атомного ядра искусственно ускоренными протонами. Полным ходом шло сооружение крупнейшего в мире электростатического генератора

Ван де Граафа. Условия для жизни тоже были приемлемыми. В договоре, который подписал Хоутерманс, оговорено, что половину зарплаты он будет получать в валюте, а отпуск проводить за границей. Ему будет предоставлена приличная квартира.

Но в 1937 г. Хоутерманс из антифашиста, которого в Харькове в 1935 г. встретили как героя и крупного ученого, превратился в “агента гестапо, шпиона и диверсанта”; а Лейпунский в “пособника врагам народа” со всеми вытекающими отсюда последствиями.

В Харькове Хоутерманс опубликовал семь научных работ, две из которых в соавторстве с И.В.Курчатовым. Именно там Игорь Васильевич общался к ядерной науке и одним из его коллег по работе стал Хоутерманс, хотя напрасно искать какие-либо сведения об этом в ранее опубликованных биографиях Курчатова. На имя Хоутерманса было наложено “табу”.

Трагической оказалась судьба харьковских соавторов Курчатова. Лев Шубников и Валентин Фомин были расстреляны, Хоутерманс и Лейпунский — арестованы. Так судьба разделила физиков на живых и мертвых.

После ареста своих коллег — А.Вайсберга, К.Вайсельберга, В.Фомина, Л.Шубникова, В.Горского, Д.Розенкевича и др. — Хоутерманс подготовил документы к выезду из СССР, но 1 ноября 1937 г. был арестован в кабинете начальника московской таможни. Начались его растянувшиеся на два с половиной года мытарства по тюрьмам Харькова, Киева и Москвы. Подробности он сам позже изложил на бумаге. Вот архивная справка, составленная в Харьковском управлении НКВД:

«Хоутерманс Фридрих Оттович, 1903 года рождения, еврей, подданный Германии, до ареста — научный руково-

дитель УФТИ, арестован 1 декабря 1937 г. управлением НКВД по Харьковской области по признакам преступления, предусмотренного статьями 54-6, 54-4, 54-10 ч.1 и 54-11 УК УССР.

На первичных допросах Хоутерманс в предъявленных ему обвинениях виноватым себя признал...

Потом на допросах в 1939 г. Хоутерманс от своих показаний отказался и объяснил, что эти “показания” в 1937-м были сфабрикованы следствием. Постановлением особого совещания при НКВД СССР от 25 апреля 1940 г. Хоутерманс был выдворен как нежелательный иностранец».

В то время как другие антифашисты-беженцы, спасаясь от Гитлера, выехали в США и другие западные страны, Хоутерманс уехал в Советский Союз и жестоко за это поплатился. Его не только пытали в подвалах НКВД, но и выдали гестапо вместе с другими антифашистами.

Известно, что решающую роль в создании атомного оружия сыграли политические беженцы из Европы, в частности из Германии, Италии, которым американское правительство предоставило все возможности для плодотворной работы. В Америке имя Хоутерманса стояло бы рядом с именами его друзей Роберта Оппенгеймера, Лео Сцилларда и других творцов атомной и водородной бомб. Несомненно, Хоутерманс лучше чем кто-либо знал, как сделать эти бомбы, и мог бы возглавить работы по созданию ядерного оружия в любой стране.

С 1 января 1941 г. он приступил к работе в частной лаборатории Манфреда фон Арденне, позднее его включили в состав миссии, которая направлялась на Украину с целью сбора аппаратуры в университетах и научных институтах, вербовки местных спе-

<sup>1</sup> См.: Хриплович И. Б. Звезды и тернии Фридриха Хоутерманса // Природа. 1991. №7. С.86—91.

циалистов для работы в Германии, и он снова побывал на территории УФТИ.

В лаборатории фон Арденне Хоутерманс занимался ядерно-физическими исследованиями и проблемой цепной реакции. В 1941 г. он изложил результаты своих теоретических разработок в отчете “К вопросу о запуске цепных ядерных реакций”. Отчет был секретным ввиду его важного военного и политического значения. В нем впервые высказана мысль о перспективности использования элемента плутония как ядерного топлива и взрывчатки.

С 1952 г. и до самой смерти Хоутерманс работал в Швейцарии в созданном им Центре физических исследований при Бернском университете, где занимался определением возраста Земли.

Друзья по Геттингену и Берлину не забыли Фрица. В своих воспоминаниях они с теплотой отзывались о нем как о замечательном человеке и большом ученом, не реализовавшем себя по не зависящим от него обстоятельствам. Сведения о харьковском периоде жизни Хоутерманса содержатся в воспоминаниях А. Вайсберга. Но описать весь жизненный путь Хоутерманса впервые задумал Э. Амальди<sup>2</sup>.

Эдоардо Амальди (1908—1989) — известный итальянский физик, государственный деятель, ученик Э. Ферми, один из инициаторов создания, а потом и руководителей Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН). По странному совпадению, книга о Хоутермансе стала последней и в ряду исторических исследований Амальди.

Эдоардо знал Фрица лично и переписывался с ним. Задумав писать о нем, он беседо-

вал со всеми, кто его знал, в частности с Виктором Вайскопфом и Георгом Плачеком, дважды (в 1979 и 1980 гг.) посетил в Америке первую жену Хоутерманса Шарлотту. Она поделилась с ним своими, в том числе и письменными, воспоминаниями. Их цитирует и Френкель.

У Френкеля было то преимущество перед Амальди, что он собирал материал уже после начала перестройки, когда открылись архивы КГБ. Толчком к написанию им статей о Хоутермансе<sup>1</sup> послужила возможность ознакомиться с архивно-следственным делом ученого, которое находится в Москве. (Нам, харьковчанам, было отказано в ознакомлении с “Делом”, несмотря на то, что Хоутерманс жил и работал в Харькове и следствие по его делу велось в основном тоже в Харькове.)

Френкель пишет: «В списке работ, который в 1943 г. И. В. Курчатов представил для выдвижения своей кандидатуры в действительные члены Академии наук СССР, две работы, написанные совместно с Хоутермансом, отсутствуют. Но в известном трехтомнике избранных работ Курчатова они приводятся в списке опубликованных им исследований» (с. 53).

И Френкель, и Амальди опубликовали списки трудов Хоутерманса и воспоминания о нем. Однако Виктору Яковлевичу удалось найти неизвестную публикацию на украинском языке<sup>4</sup>. Интересно, что журнал помещал фотографии авторов, однако в статье есть фотография лишь одного Лейпунского с подписью: “Род. 1903 г., член КП(б)У с 1930 г., член ЛКСМУ”.

✶

<sup>1</sup> Френкель В. Я. Новое о Фридрихе Хоутермансе // Природа. №8. 1992. С.92.

<sup>4</sup> Ф. Хоутерманс, А. М. Лейпунский, В. П. Фомин и Л. В. Шубников. Образование ядер тяжелого водорода из протонов и нейтронов // Вісті АН УРСР. №4. 1936.

В биографии Хоутерманса есть некая тайна, привлекавшая исследователей. Как объяснить то обстоятельство, что он из огня фашизма попал в полями большевизма и смог выйти живым? Поэтому его биография воспринимается почти как “жизнь и необыкновенные приключения”, что просматривается и в названии книги Амальди.

Сильное брожение в умах советских физиков вызвало, да и продолжает вызывать, внезапное появление Хоутерманса в оккупированном немцами Харькове. Вот как описал это событие в письме к автору этих строк Леонид Пятигорский:

«Приведу еще некоторые проверенные факты, связанные с тем злосчастным временем:

В годы войны на территории УФТИ был “научно исследовательский институт”, который сотрудники, оставшиеся в Харькове, окрестили “Эберти”. Это название связано с тем, что директором его был сын проф. Эберти, немецкого физико-химика <...> Наша Нина Михайловна Шестопалова рассказывала мне, что однажды всем сотрудникам “Эберти” велели явиться и построиться на лестнице с первого на второй этаж (высоковольтного корпуса. — Ю.Р.): придет гость. Сотрудники пришли, построились, и к огромному удивлению присутствующих в корпус вошел и стал подниматься по лестнице... Хоутерманс! Он поздоровался с каждым сотрудником за руку и прошел в кабинет, где до войны сидел директор института. Спросил, где находится Шпетный (директор УФТИ. — Ю.Р.). Но Шпетного на оккупированной территории, конечно, не было. При этом Хоутерманс был одет в новенький фашистский мундир, а на голове у него была шляпа с высокой тульей. Он сказал, что

<sup>2</sup> Amaldi E. The adventures and life of Friedrich Georg Houtermans, physicist (1903—1966). New Jersey, 1998. 150 p.

прибыл с целью оказать помощь сотрудникам УФТИ».

«В УФТИ полагали, что он уже сгинул в тюрьме или в лагере и увидеть его живым и здоровым само по себе было удивительным. Но в оккупированном Харькове, да еще в форме офицера СС — это было невероятно!» — пишет Френкель (с.128).

Случилось это в ноябре 1941 г. Хоутерманс пробыл в Харькове чуть больше месяца. Что он там делал?

Не вдаваясь в подробности миссии Хоутерманса в Киеве и Харькове, напомним, что использование ученых в “научном тылу” противника во время войны было обычной практикой. Так же поступали немцы в оккупированной ими Франции. Позднее американцы — вслед за наступающими войсками по территории Франции и Германии — направили возглавляемую американским физиком С.Гудсмитом миссию “Алсос”. Одновременно с ними с востока двигалась советская группа физиков: Ю.Б.Харитон, И.К.Кикоин, Л.А.Арцимович и многие другие. Причем советские физики были одеты в форму полковников НКВД.

Никакого вреда визит Хоутерманса в Харьков не причинил. Никто из ученых не был вывезен в Германию, нетронутым осталось и оборудование. По сути, и Амальди, и Френкель отвергают идею НКВД о том, что Хоутерманс был германским шпионом, засланным в СССР гестапо, и их аргументы очень убедительны.

Большое внимание в книге Френкеля уделено детективной истории “Чистка в России”, описанной Хоутермансом и его союзником по Лукьяновской тюрьме профессором Киевского университета Константином Штепой. Книга вышла под псевдонимами. Но если Амальди знал имена авторов от самого Хоутерманса, то Френкель долго разгадывал

этот ребус, в частности устанавливая личность киевского соавтора. Френкель нашел книгу в библиотеке Нильса Бора с дарственной надписью Хоутерманса “Проф. Нильсу Бору с благодарностью и восхищением от авторов. 10 июня 1951”. Бор заслужил благодарность не только тем, что очень помог семье Хоутерманса во время переезда в Данию из Советского Союза в начале 1938 г., но и содействием в издании упомянутой книги.

Френкель пишет: «Много позднее, после смерти Ф. Хоутерманса, К.Ф.Штепа вспоминал об их знакомстве, что было записано его дочерью на нескольких страницах, которые сохранились в семье Хоутерманса» (с.148). Штепа умер в 1958 г. в США. Его имя полностью забыто, несмотря на то, что он был видным историком до войны на Украине, а после войны — в Америке. Лишь сейчас о нем вспомнили.

Почти все авторы отмечают страсть Хоутерманса к курению. Жена Шарлота поругивала мужа за это, особенно когда родился ребенок. Квартира Хоутермансов под №2 на ул. Чайковского, 16 располагалась на первом этаже, и Фриц пристроил к ней нечто вроде открытой террасы, на которую выходил покурить. Это единственная материальная память об ученом в Харькове. Соседи, жившие на третьем этаже, вспоминают, что они с удовольствием вдыхали запахи табачного дыма, который поднимался к ним на балкон с первого этажа. Умер Хоутерманс от рака легких.

Френкель писал, что книга “Чистка в России” «может рассматриваться как предтеча “Архипелага ГУЛАГ” А.И.Солженицына, повествующая о судьбе заключенных в советских тюрьмах того времени» (с.147). Она была написана с целью “открыть глаза Западу” на то, что творилось в Со-



*Фридрих Георг Хоутерманс.*

ветском Союзе. Как ни странно, но она, как и многие другие, не достигла цели. Запад просто не поверил в то, что такое было. Сейчас ситуация парадоксально изменилась: Запад уже давно поверил, но не верит часть наших соотечественников.

В последние годы на стендах, посвященных истории УФТИ, можно увидеть портреты бывших сотрудников: Хоутерманса, Ланге, Вайскопфа, Тиссы, Плачека, Подольского, Руэманна и других иностранных визитеров, а также репрессированных уфтинцев. Институт чтит их память. ■

## Глобальные проблемы

**Э.Вайцзеккер, Э.Ловинс, Л.Ловинс.** ФАКТОР ЧЕТЫРЕ / Пер. А.П.Заварницына и В.Д.Новикова; Под ред. Г.А.Месяца. М.: Academia, 2000. 400 с.

В 1968 г. группа ученых и бизнесменов из разных стран основала Римский клуб — международную неправительственную организацию, целью которой было и остается изучение глобальных проблем и поиск путей их решения. В 1972 г. был опубликован первый доклад Римскому клубу — “Пределы роста” (авторы — Д. и Д.Мидоуза, Й.Рандерс и В.Беренс).

По существу это была первая, научно обоснованная попытка собрать воедино результаты изучения глобальной динамики человечества и окружающей среды. Доклад, изданный в виде объемистого тома, привлек внимание политиков и ученых во всем мире, поскольку утверждал, что под угрозой оказалась судьба всего человечества.

С тех пор прошло более 30 лет. В 1995 г. появился новый доклад Римскому клубу, авторы которого — всемирно известные специалисты в области охраны окружающей среды. Доклад посвящен поиску ответа на вопрос: “Как примирить между собой высокое качество жизни и бережное отношение к природным ресурсам?”

Книга представляет собой переработанный вариант доклада. Ее название расшифровывается как: “Затрат — половина, отдача — двойная”. В ней обосновывается концепция “производительности ресурсов”, под которой авторы понимают возможность жить в два раза лучше и в то же время тратить в два раза меньше. Отсюда — и название книги.

## Охрана природы

**В.В.Снажин.** ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ПРИРОДЫ: СЛОВАРЬ-СПРАВОЧНИК / Под ред. А.Л.Яншина. М.: Academia, 2000. 384 с.

Наука и практика в области охраны природы развиваются бурно при участии специалистов по самым разным дисциплинам. Вследствие этого возникает множество проблем, вызванных неоднозначным и порой взаимоисключающим использованием терминов. В словаре сделана попытка дать наиболее распространенное и систематизированное толкование понятий: экология как фундаментальная научная основа, природопользование и охрана природы как области практической деятельности человека.

Представлено более 5000 терминов, которые раскрываются по определенной схеме — от научных аспектов к практическим. Особое внимание уделено промышленной экологии. Есть разделы, где даны сведения о международных организациях, конвенциях, фондах по охране природы, их наиболее распространенные аббревиатуры (в русском и английском вариантах), а также перечень основных загрязняющих веществ с указанием особенностей их воздействия на человека и природу в целом.

## Ботаника

**В.П.Мишуров, Г.А.Волкова, Н.В.Портнягина.** ИНТРОДУКЦИЯ ПОЛЕЗНЫХ РАСТЕНИЙ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ. СПб.: Наука, 1999. 216 с.

Интродукция — переселение какого-либо вида животных и растений за пределы естественного ареала. Этот процесс дает возможность обогащать растительный мир любого региона новыми видами.

В книге описано 210 видов кормовых и лекарственных растений, которых изучают с 1946 г. в коллекционных питомниках Ботанического сада при Институте биологии Коми — научного центра Уральского отделения РАН.

По каждому виду даны сведения о его географическом распространении, условиях произ-

растания, долголетию особей, времени привлечения в интродукцию, всхожести, зимостойкости, динамики роста, практическом использовании в производстве кормов и в медицине. Для кормовых растений дана биохимическая оценка сырья в условиях Севера.

Материал, представленный в книге, показывает, что многие виды растений Дальнего Востока, Кавказа, южных регионов нашей страны, а также Северной Америки успешно произрастают в тайге Коми.

## История науки

**Ю.М.Пушаровский.** СРЕДИ ГЕОЛОГОВ. М.: ГЕОС, 1999. 170 с.

Эта книга написана в жанре беллетризованной научной биографии. Ее герои — крупнейшие отечественные геологи, в большинстве академики Российской академии наук: А.Д.Архангельский, В.И.Вернадский, Н.С.Шатский, А.Л.Яншин, А.П.Карпинский, А.А.Богданов, Ю.А.Косыгин и др. Это геологические классики, а жизнь и образ мыслей классиков всегда интересны и часто поучительны. Почти со всеми учеными автор очерков был хорошо знаком, с некоторыми дружил. Их имена составляют гордость Геологического института Российской академии наук (ГИНА).

Некоторые очерки публиковались прежде, но в этом издании они переработаны и дополнены. Стандарт здесь был бы неуместен, так как изложение сохранившихся в памяти фактов и впечатлений оказалось бы скованным. О Карпинском и Вернадском автор упоминает в связи с большим значением их работ для развития тектонической школы ГИНА.

Автор не ставил своей целью полностью воспроизвести биографии ученых. Его задачей было рассказать о наиболее ярких сторонах их жизни, характерах и научной деятельности. Что из этого получилось — судить читателю.

# “Негостеприимная земля”

## (Путешествие Брема по Западной Сибири)

В.В.Богданов

Москва

Альфред Эдмунд Брем (1829—1884) — замечательный немецкий исследователь и путешественник. Он дважды побывал в Африке и Испании, объехал Норвегию, Лапландию и другие страны. Он написал популярные книги — “Жизнь животных” и “Жизнь птиц”, ставшие всемирно известными.

Брем принял участие в экспедиции по Западной Сибири. Более 100 лет прошло с того времени, но до сих пор почти ничего не известно о подробностях путешествия этого неутомимого естествоиспытателя по просторам Приобского Севера. Нам удалось найти некоторые материалы и записки, восстанавливающие эту важную страницу в жизни Брема.

В 1879 г. в Германии вышла книга Отто Финша<sup>1</sup> и Альфреда Брема “Путешествие в Западную Сибирь”, которая вызвала небывалый интерес в научных кругах. По сути дела благодаря этому объемному труду немцы впервые познакомились с природой, жи-

вотным миром, обычаями коренных жителей центральных и северных районов Западной Сибири.

Этот труд заметили и в России. Впервые на русском языке отдельные главы “Путешествия...” были опубликованы в 1881 г. в журнале “Природа и охота”. Спустя год работа напечатана полностью. Примечательно, что книга имела почти 600 страниц текста и около 50 оригинальных рисунков, сделанных участниками экспедиции<sup>2</sup>.

“Путешествие...” написано Финшем в соавторстве с Бремом, но повествование идет от первого лица. Анализ текста и другие данные позволяют сделать вывод: в книге использованы дневниковые записи Брема. Возможно, эти путевые заметки хранятся в Германии, в личном архиве естествоиспытателя. Это подтверждается новейшими исследованиями: несколько лет назад в журнале “Алтай”<sup>3</sup> опубликованы отрывки из дневника Брема, рассказывающие о его пребывании в Барнауле.

### Организация экспедиции

Идею о путешествии в Западную Сибирь подал секретарь Бременского полярного общества М.Линдеман. Финш сразу же выразил желание отправиться в далекую и нелегкую поездку. Наметили маршрут и подсчитали, что для проведения экспедиции в составе двух человек потребуется около 18 тыс. марок. Общество не располагало такими средствами. Тогда обратились к правительству, общественным организациям и частным лицам с просьбой оказать финансовую помощь задуманному предприятию.

В результате с большим трудом удалось собрать около 13 тыс. марок, что было явно недостаточно. И вот 25 февраля 1876 г. — богатейший подарок: известный русский промышленник Александр Михайлович Сибиряков выделил более 20 тыс. марок.

Теперь для поездки в Сибирь требовалось подыскать достойного и известного натуралиста. Финш поддерживал дружеские отношения с Бремом и предложил ему принять участие в экспедиции. Так впервые Альфред Брем отпра-

<sup>1</sup> Отто Финш (1839—1917) — немецкий путешественник, этнолог и орнитолог. В 1864 г. — директор Естественноисторического и этнографического музея в Бремене.

<sup>2</sup> Известно, что Финш и Брем набрасывали эскизы с натуры, а рисунки для книги сделал немецкий художник М.Гофман.

<sup>3</sup> “...Не в розовом цвете...” // Алтай. 1995. №4—5. С.285—289.



Альфред Брем.

вился в далекий и малоизвестный для него край.

18 марта 1876 г. немецкие исследователи выехали на санях из Москвы. По Волге добрались до Казани, оттуда — в Пермь, затем на тарантасах через Екатеринбург в Тюмень, потом в Омск, по Иртышу до Семипалатинска. Побывали и в Китае. Вернувшись в Россию, добрались до Томска, по Оби — до Обдорска; затем пешком, на оленях и лодках дошли до самого берега Карского моря. Только по Сибири они прошли около 15 тыс. км.

### “Негостеприимная земля”

Путешествуя по Западной Сибири, Альфред Брем занимался наблюдениями. На Оби, например, он описывает и теревинный ток, и бег северного оленя. Основные научные исследования Брема посвящены тундре. Тогда же в Сибири работала экспедиция, организованная членами Общества для содействия русскому торговому мореходству<sup>1</sup>, куда

<sup>1</sup> Как известно, Общество для содействия русскому торговому мореходству составило проект соединения каналом Оби с Карской губой.

входили граф А.Е.Комаровский, А.К.Трапезников, все тот же А.М.Сибиряков и др. Участники двух экспедиций встретились на берегах Оби. Узнав, что русский капитан намерен изучать устье р.Щучьей, Брем загорелся желанием отправиться вместе с ним.

Обратимся к записям Финша:

«В план нашего путешествия входила поездка в Обскую губу... И еще в Тюмени я получил телеграмму, в которой Александр Сибиряков, великодушный покровитель нашей экспедиции, выразил желание, чтобы мы посетили эти места...

15 июля, в 4 часа утра, шхуна отправилась вперед, и мы поспешили последовать за нею... С русским капитаном было условлено, что Брем останется в юрте Лангальки, но никто из нас не знал, где она находится... Прошло несколько дней, но от него не было никаких вестей. Я начал уже беспокоиться.

По сообщению казачьего урядника, юрта Лангалька — это должно быть урочище, лежащее в 40 верстах от Янбурри. Удалось отправить туда двух остяков с письмами и съестными припасами. Мы выехали из Набалги. Я было вздремнул. Вдруг в первом часу 18 июля один остяк принес нам известие, что в ближнем чуме находится какой-то чужестранец.

Это мог быть только Брем. Я отправился туда пешком, опережая лодку. И нашел там действительно Брема, который уже более полутора суток находился в дымном чуме среди остяцких женщин, детей и собак. Он успел зару-

<sup>2</sup> Трясогузки (по Брему) — представители отряда древесных птиц; различают белую, горную и желтую трясогузку.

<sup>3</sup> “Коньки, или шеврицы” — переходный вид от славковых птиц к жаворонкам. На Крайнем Севере водится красногрудый конек; представители: шеврица водяная, или водяной конек, — преимущественно в горной местности; есть шеврица береговая.

читься (у аборигенов) серым гусем, несколькими плавунчиками, трясогузками<sup>5</sup> и щеврицами Густава<sup>6</sup>...»

В следующем издании "Жизни животных" Брем так описывает этих птиц: «Плавунчики характеризуются средней длины прямым и слабым клювом, низкими ногами, длинными и острыми крыльями, коротким закругленным хвостом... Название присваивается им потому, что они превосходят в умении плавать всех прочих птиц. Родина их — Крайний Север».

## Немцы открывают Сибирь

Альфред Брем продолжал наблюдения. Когда покинули Обь, исчезли вороны и сороки. Все чаще встречались серые сукалени. В "Жизни животных" они так охарактеризованы: «Сукальни, или вер-

тенники, относятся к отряду поисковых птиц; отмечается их некоторое сходство с бекасами; представителем их может служить лапландский сукалень, водящийся в северных частях Европы и Азии.<...>. Млекопитающими тундра населена беднее. Дикие олени встречались редко и поодиночке — их чаще можно было видеть в лесах Урала. Волков, напротив, здесь довольно много, и они причиняют немало вреда оленьим стадам. Несколько раз слышали лай песцов, но видеть их не удавалось. На р.Щучьей Брем наблюдал и ловил полевок и леммингов (лемминги составляют основную пищу хищных зверей тундры; а по уверению местных жителей, зимою и олени с жадностью пожирают этих зверьков)».

По свидетельству современников, Альфред Брем имел замечательную внешность. Статный, красивый мужчина с умным, выразительным ли-

цом; высокий лоб, орлиный нос, приветливые голубые глаза, длинная темная борода — это придавало ему особую выразительность. Он был открытым и прямодушным; о своих заслугах выражался скромно, лести не любил, был интересным собеседником, юмористом и выдумщиком.

К сожалению, Брем не оставил подробных записей, обобщающих результаты его исследований в Западной Сибири. Опубликованы лишь его отдельные статьи о природе и животном мире Севера. После смерти Брема вышел его сборник "Жизнь на Севере и Юге: от полюса до экватора". Вот некоторые фрагменты:

«Мы решились проехать по тундре и выбрали самоедский полуостров, лежащий между Обью и Карским заливом. Для этого путешествия мы наняли в Обдорске достаточное число... русских, зырян, остя-



Хищные чайки, плавунчики и золотистые ржанки.



Остяки-язычники.

ков и самоедов... В девяти днях пути на пастбище Саддабей должны были находиться олени, но на Щучьей в это время нельзя было найти ни одного животного. Нам ничего не оставалось, как продолжать путешествие пешком и переносить все трудности и неудобства странствования по непроезжей, голодной, наполненной комарами... неизвестной стране...

Одетые в короткие шубы, неся кроме мешка на спине с тяжелыми охотничьими принадлежностями еще оружие на плечах и мелкие мешки, мы выступили в путь... Мы поднялись на бесчисленное множество холмов, прошли столько же долин, болот, трясин... Менее гостеприимно тундра не могла нас встретить. Ветер хлестал нам по лицу мелким дождем, в промокших шубах мы ложились на сырую землю... Но солнце высушивало платье и придавало нам новую бодрость и силу, и мы двигались вперед.

Наши люди открыли два чума. В подозрительные трубы мы разглядели окружавших оленей. Обрадованные до глубины души, мы уже видели себя удобно раскинувшимися в единственно возможном здесь экипаже в санях... Мы достигли чума и оленей и были

поражены ужасным зрелищем. В рогатом стаде свирепствовала сибирская язва — самая страшная из болезней скота, истребляющая все без пощады, делающая бессильными все средства, употребляемые человеком, доводящая до нищеты целые поселения и требующая жертв от людей так же, как и от животных...

Мы добрались до нашей лодки и после двух недель лишений разрешили себе полное изобилие... Один шаман... предсказал, что мы уже в будущем году опять вернемся в негостеприимную землю; что два императора вознаградят нас и наши "старшины" останутся довольны нашими сочинениями... Но в тундру я уже не возвращусь никогда».

Последняя часть его предсказаний оправдалась.

Участники этой экспедиции привезли в Германию более 550 экз. птиц, 150 — земноводных, 400 — рыб, около тысячи насекомых, многочисленные образцы горных пород, а также образцы орудий земледелия и лесоводства. Финш собрал в Сибири неплохую этнографическую коллекцию. На основе полученных материалов были открыты выставки в Бремене, Гамбурге, Ганновере, Касселе. Позднее

сибирские коллекции пополнили фонды Берлинского зоологического музея, а также музеев в Мюнхене, Штутгарте, Лондоне.

Путешествие Альфреда Брема по Западной Сибири существенно дополнило имеющиеся материалы по зоологии. Однако он не успел обработать их до конца. По свидетельству его биографа Э.Краузе, сибирское путешествие было последней значительной экспедицией Брема. Далее он предпринял только небольшие поездки в Венгрию и Испанию (1878—1879), в Северную Америку (1883).

Примечательно, что эти годы отметились для него личными несчастьями: в 1877 г. Брем потерял мать, а через год — жену, которая была ему верной помощницей; скончался его горячо любимый младший сын. Горести и усиленная работа расстроили здоровье Брема. В 1884 г. он скончался.

Неоценимо значение Брема в истории естествознания. Половину жизни исследователь провел в пути: пересек экватор, побывал за Полярным кругом. Он был страстным пропагандистом и горячим энтузиастом науки, он показывал людям величие и красоту природы и животного мира. ■

# ПРИРОДА

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**

Перевод

**П.А.ХОМЯКОВ**

Набор

**Е.Е.ЖУКОВА**

Корректоры

**В.А.ЕРМОЛАЕВА**

**Л.М.ФЕДОРОВА**

Графика, верстка

**Д.А.БРАГИН**

Адрес редакции:

117810, Москва, ГСП-1

Мароновский пер., 26

Тел.: 238-24-56, 238-25-77

Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 18.04.2000

Формат 60×88 1/8

Бумага типографская №1

Офсетная печать

Усл. печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт. 67,8 тыс.

Уч.-изд. л. 15,1

Заказ 3544

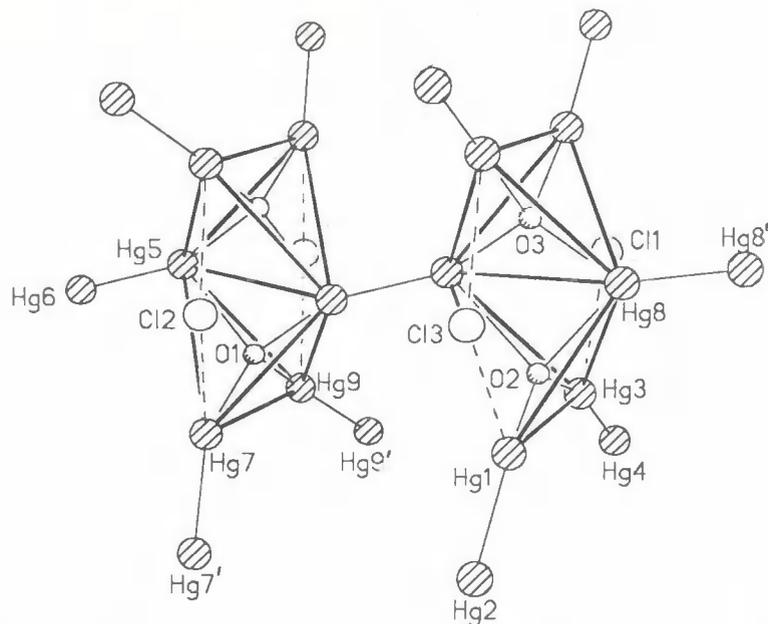
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП

типографии «Наука»

Академиздатцентра «Наука» РАН,

121099, Москва, Шубинский пер., 6



Почти 23 века назад египтяне научились превращать красный минерал киноварь ( $\text{HgS}$ ) в серебристо-белую жидкую ртуть. Тяжелая, холодная, юркая, она вызывала изумление. Через тысячелетие удивительную ртуть, растворяющую все металлы и вновь выделяющую их при нагревании амальгам, алхимики стали использовать в своих опытах, считая ее матерью всех металлов.

Ртуть не перестает удивлять и в наши дни: самые высокотемпературные сверхпроводники получены в сложных системах со ртутью. Химия этого элемента еще далеко не изучена, он необычно проявляет себя и в синтетических соединениях, и в редких природных минералах. Атомы ртути, ковалентно связываясь, образуют кластеры в виде гантелей и треугольников — основных блоков кристаллической решетки. В минералах они, как катионы, взаимодействуют с анионами и возникает многоатомный комплекс, центрированный вокруг кислорода.

Магарилл С.А., Борисов С.В., Первухина Н.В., Пальчик Н.А.,  
Романенко Г.В.

УНИКАЛЬНОЕ СТРОЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ РТУТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

