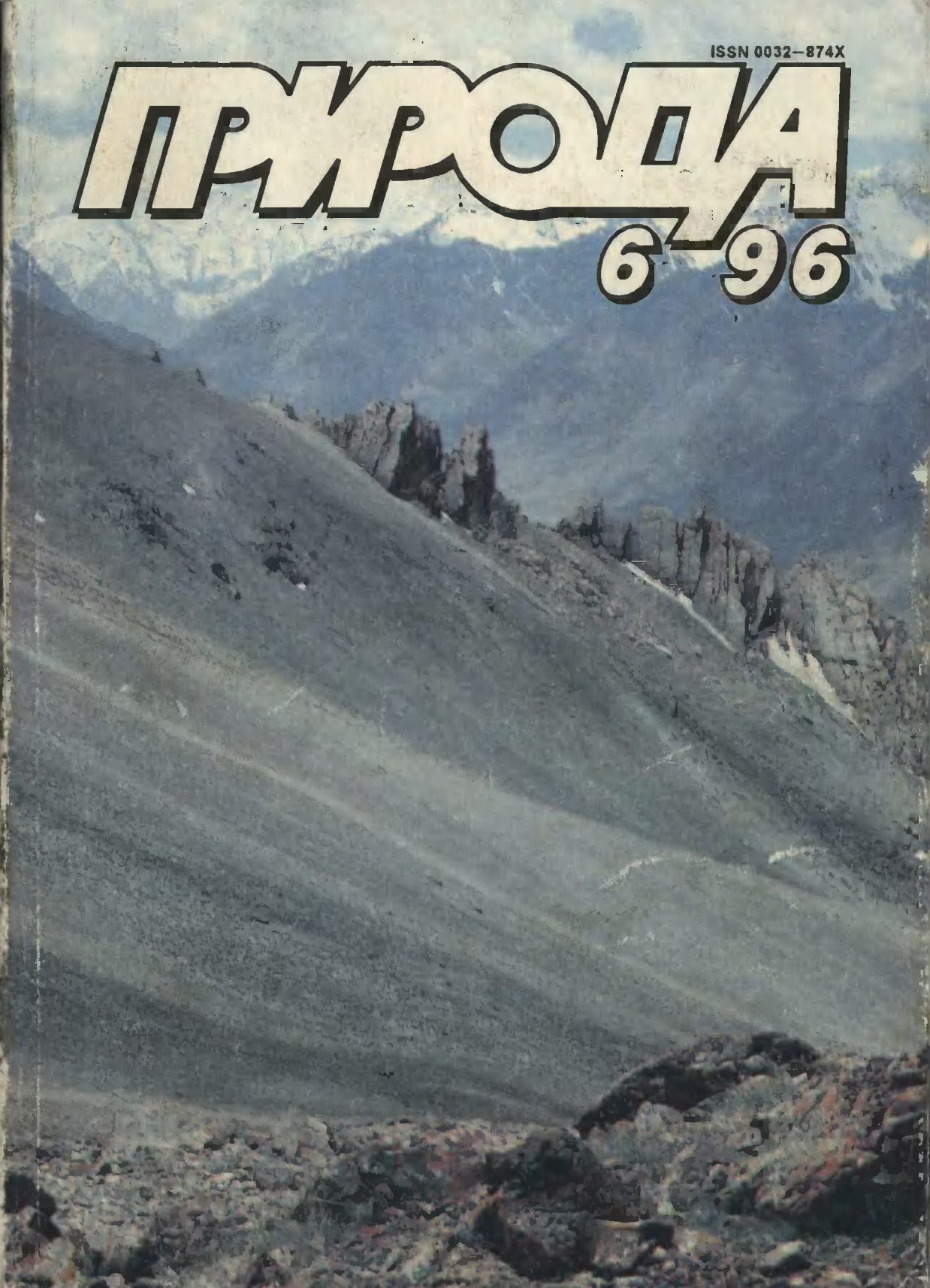


ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

6-96



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Памир — одна из основных зон видообразования горных бабочек-аполлонов. См. в номере: Сочивко А.В., Каабак Л.В. Аполлоны Памира.

Фото А.В.Сочивко

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, созданный академиком А. П. Виноградовым. См. в номере: «Я не мог пройти мимо науки» (К 100-летию со дня рождения академика А. П. Виноградова).



Издательство «Наука» РАН

© Российская академия наук
журнал «Природа» 1996

В НОМЕРЕ

3 Филиппов Б.П. ЗРИМЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ СОЛНЦА

Поведение плазмы солнечной атмосферы в основном зависит от магнитного поля, вырывающегося из глубинных слоев Солнца. Наблюдаемые в разных диапазонах электромагнитного излучения плазменные структуры дают возможность изучать взаимодействие поля и вещества, а также делают поле «видимым».

13 Васильев Б.В. ОТКУДА У ЗЕМЛИ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ?

На примере задачи о земном магнетизме рассмотрены различные подходы к решению общей проблемы возникновения магнитных полей космических тел.

ЛЕКТОРИЙ

24 Дьяков Ю.Т. РОЛЬ ЭНДОСИМБИОЗОВ В ЭВО- ЛЮЦИИ ВОДОРΟΣЛЕЙ

37 Махинов А.Н. ЗАТЕРЯННЫЙ МИР ПЛАТО МАР- КЮЕЛЬ

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

41 Сочивко А.В., Каабак Л.В. АПОЛЛОНЫ ПАМИРА

46 Сурдин В.Г. ЮНАЯ ГАЛАКТИКА, ОКРУЖЕННАЯ ГАЗОВЫМ ДИСКОМ

48 Виноградов Г.М. СТЕРВЯТНИКИ СУШИ И МОРЯ

54 Сергеев В.Н., Нолл Э.Х., За- варзин Г.А. ПЕРВЫЕ ТРИ МИЛЛИАРДА ЛЕТ ЖИЗНИ: ОТ ПРОКАРИОТ К ЭВ- КАРИОТАМ

68 Бисноватый-Коган Г.С. ПОРЯДОК И БЕСПОРЯДОК В АСТРОФИЗИКЕ

Гигантские скопления звезд в своем поведении подчиняются статистическим закономерностям. Ряд наблюдаемых в галактиках и переменных звездах явлений можно объяснить, привлекая теорию стохастических процессов в динамических системах.

80 Постнов К.А. ЗЕМНОЕ ЭХО КОСМИЧЕСКИХ КАТАСТРОФ

86 Смирнова М.Н. ПАЛЕОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В РАЙОНЕ ОЗ. КЕЗЕНОЙ-АМ

90 Мельников И.А. ПЕРВАЯ ДРЕЙФУЮЩАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ В АНТАРКТИКЕ

95 Скворцов А.К. МНОГООБРАЗИЕ ЖИВОГО МИРА ЗЕМЛИ И ПРОБЛЕМЫ ЕГО СО- ХРАНЕНИЯ

106 «Я НЕ МОГ ПРОЙТИ МИМО. НАУКИ»

К 100-летию А.П.Виноградова

За свою долгую жизнь А.П.Виноградов создал отечественную школу геохимиков, занявшую достойное место в мировой науке. Сделал это он прежде всего своими собственными блестящими исследованиями в геохимии, биохимии и космохимии. После Александра Павловича в науке остались его многочисленные ученики и последователи.

Ярошевский А.А.

А.П.ВИНОГРАДОВ И СОВРЕМЕН- НАЯ ГЕОХИМИЯ (107)

Виноградова Л.Д.

ШТРИХИ К БИОГРАФИИ (114)

Шуколюков Ю.А., Бибикова Е.В., Поляков В.Б.

ЮБИЛЕЙНАЯ НАУЧНАЯ СЕССИЯ НА XIV СИМПОЗИУМЕ ПО ГЕО- ХИМИИ ИЗОТОПОВ (125)

134 ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ П.Л.КА- ПИЦЫ — ИЛЬЕ ПРИГОЖИНУ

136 Миноранский В.А., Добринов А.В. КОРОСТЕЛЬ — КАНДИДАТ В КРАСНУЮ КНИГУ РОССИИ

139 НОВОСТИ НАУКИ (53, 92—94)

КОРОТКО (23)

РЕЦЕНЗИИ

157 Миркин Б.М., Хазиахметов Р.М. РЯДОМ С «БОМБОЙ ЗАМЕДЛЕН- НОГО ДЕЙСТВИЯ»

IN THIS ISSUE

- 3 Filippov B.P.**
VISIBLE MAGNETIC FIELDS OF
THE SUN

The behavior of plasma in the solar atmosphere depends mainly on the magnetic field bursting out of the deep layers of the Sun. The field becomes «visible» owing to plasma structures which are observable in various ranges of electromagnetic radiation.

- 13 Vasiliev B.V.**
WHY THE EARTH HAS A MAGNETIC FIELD

Referring to terrestrial magnetism as an example, the author examines various approaches to elucidating the origin of magnetic fields of cosmic bodies.

LECTURES

- 24 Dyakov Yu.T.**
THE ROLE OF ENDOSYMBIOSIS IN
ALGAE EVOLUTION

- 37 Makhlinov A.N.**
THE LOST WORLD OF THE
MAR-KYUEL PLATEAU

NEWS FROM EXPEDITIONS

- 41 Sochivko A.B and Kaabak L.V.**
THE APOLLOS OF THE PAMIRS

- 46 Surdin V.G.**
A YOUNG GALAXY SURROUNDED
BY A GASEOUS DISK

- 48 Vinogradov G.M.**
SCAVENGERS OF LAND AND SEA

- 54 Sergeev V.N., Noll E.H., and
Zavarzin G.A.**
THE FIRST THREE BILLION YEARS
OF LIFE: FROM PROKARYOTES
TO EUKARYOTES

- 68 Blisnovaty-Kogan G.S.**
ORDER AND DISORDER IN AS-
TROPHYSICS

The evolution of giant star clusters shows statistical behavior. Several phenomena observed in galaxies and variable stars can be explained by the theory of stochastic processes in dynamic systems.

- 80 Postnov K.A.**
THE ECHO OF COSMIC CATAS-
TROPHES ON THE EARTH

- 86 Smirnova M.N.**
PALEOSEISMIC PHENOMENA
NEAR LAKE KEZENOI-AM

- 90 Melnikov I.A.**
THE FIRST DRIFTING SCIENTIFIC
STATION IN THE ANTARCTIC

- 95 Skvortsov A.K.**
THE WORLD' BIODIVERSITY: HOW
CAN IT BE MAINTAINED?

- 106 «I COULD NOT HELP TURNING
TO SCIENCE»
On the 100th birthday of
A.P.Vinogradov**

In the course of his long life, A.P. Vinogradov created a Russian school of geochemists that has won international acclaim. This accomplishment was largely a result of his own brilliant studies in geochemistry, biochemistry, and cosmochemistry. He left behind numerous students who continue his work.

Yaroshevskii A.A. A.P. VINOGRADOV AND MODERN GEOCHEMISTRY (107)

Vinogradova L.D. A FEW BIOGRAPHICAL FACTS (114)

Shukolyukov Yu.A., Bibikova E.B., and Polyakov V.B.

ANNIVERSARY SCIENTIFIC SESSION AT THE XIV SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOCHEMISTRY (125)

- 134 ILYA PRIGOZHIN RECEIVES THE
GOLDEN KAPITZA MEDAL**

- 136 Minoranski V.A. Dobrinov A.V.**
LANDRAIL — A CANDIDATE FOR
THE RUSSIAN RED DATA BOOK

- 139 SCIENCE NEWS (53, 92—94)
IN BRIEF (23)**

BOOK REVIEWS

- 157 Mirkdn B.M., Khaziakhmetov R.M.**
BESIDE A TIME BOMB

Зримые магнитные поля Солнца

Б.П. Филиппов



Борис Петрович Филиппов, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией солнечной активности Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН. Научные интересы связаны с исследованием механизмов нестационарных процессов в атмосфере Солнца. Автор монографии «Магнитные поля активных областей Солнца» (совместно с М.М. Малденским; М., 1992).

СОЛНЦЕ. Гигантский раскаленный газовый шар. Совершенная форма, поразительное постоянство. Редкий народ в древности не поклонялся ему, почитая высшим божеством. На первый взгляд оно не представляется достаточно интересным объектом исследования. Впрочем, лишь на первый взгляд. Солнечная атмосфера пронизана удивительной субстанцией, наполняющей ее бурной «жизнью». Это — магнитное поле, именно с ним связана изменчивость Солнца как звезды, его активность.

Поведение плазмы в магнитном поле привлекло пристальное внимание физиков в связи с проблемами термоядерного синтеза. В лабораторной установке можно необходимым образом менять условия эксперимента и производить измерения *in situ*. В астрофизике условия задает сама природа, но зато высока степень «чистоты» эксперимента: отсутствует влияние стенок камеры, не сказывается воздействие измерительной техники, примесей. Поэтому исследования Солнца — звезды, которая у нас буквально «под боком», не только расширяют наше представление о небесных телах (что, конечно, немаловажно), но и вносят существенный вклад в изучение общих свойств плазмы, условий ее равновесия в магнитных полях, неустойчивостей и др.

СОЛНЕЧНАЯ КОРОНА ВО ВРЕМЯ ЗАТМЕНИЙ

Взаимодействие солнечной плазмы с магнитным полем можно изучать даже невооруженным глазом. Правда,

это возможно лишь в редкие минуты полных солнечных затмений, когда яркий диск закрывается Луной и перед взором предстает жемчужно-серебристая корона, окутывающая Солнце. Ее вид не имеет ничего общего с правильной сферичностью фотосферы — основного источника видимого излучения Солнца. Космы тонких светящихся прядей, или струй, местами прямых, местами изогнутых так, что возникают образования, напоминающие шлемы или опахала, вырываются из внутренних слоев короны и, постепенно ослабевая, тают на фоне неба.

Отдельные пряди — корональные лучи — представляют собой силовые трубки магнитного поля. В нижних слоях короны над активными областями, где сосредоточены наиболее сильные поля, встречаются трубки в виде петель, концы которых укоренены в фотосфере. В этих местах плотность магнитной энергии превышает плотность тепловой энергии частиц корональной плазмы. Магнитное поле способно удерживать горячую плазму короны в петлях, которые составляют внутреннюю часть шлемов. Петли наблюдаются до высот порядка половины радиуса Солнца над фотосферой (видимым краем диска).

В основаниях шлемов часто можно видеть протуберанцы — облака более холодной плазмы, чем окружающая корона, — которые висят в «гамаке» из силовых линий магнитного поля. Некоторые нестационарные протуберанцы представляют собой просто магнитные трубки, заполненные холодной плазмой.

Там, где поле недостаточно интенсивно, горячая плазма разрывает силовые линии и вытягивает их в межпланетное пространство. Магнитная конфигурация становится открытой. Картина, наблюдаемая во время затмений, отображает, таким образом, ту часть солнечной атмосферы, где происходит формирование потоков солнечного ветра. Солнечный ветер, оказывающий существенное воздействие на электромагнитную обстановку вблизи Земли и, возможно, играющий

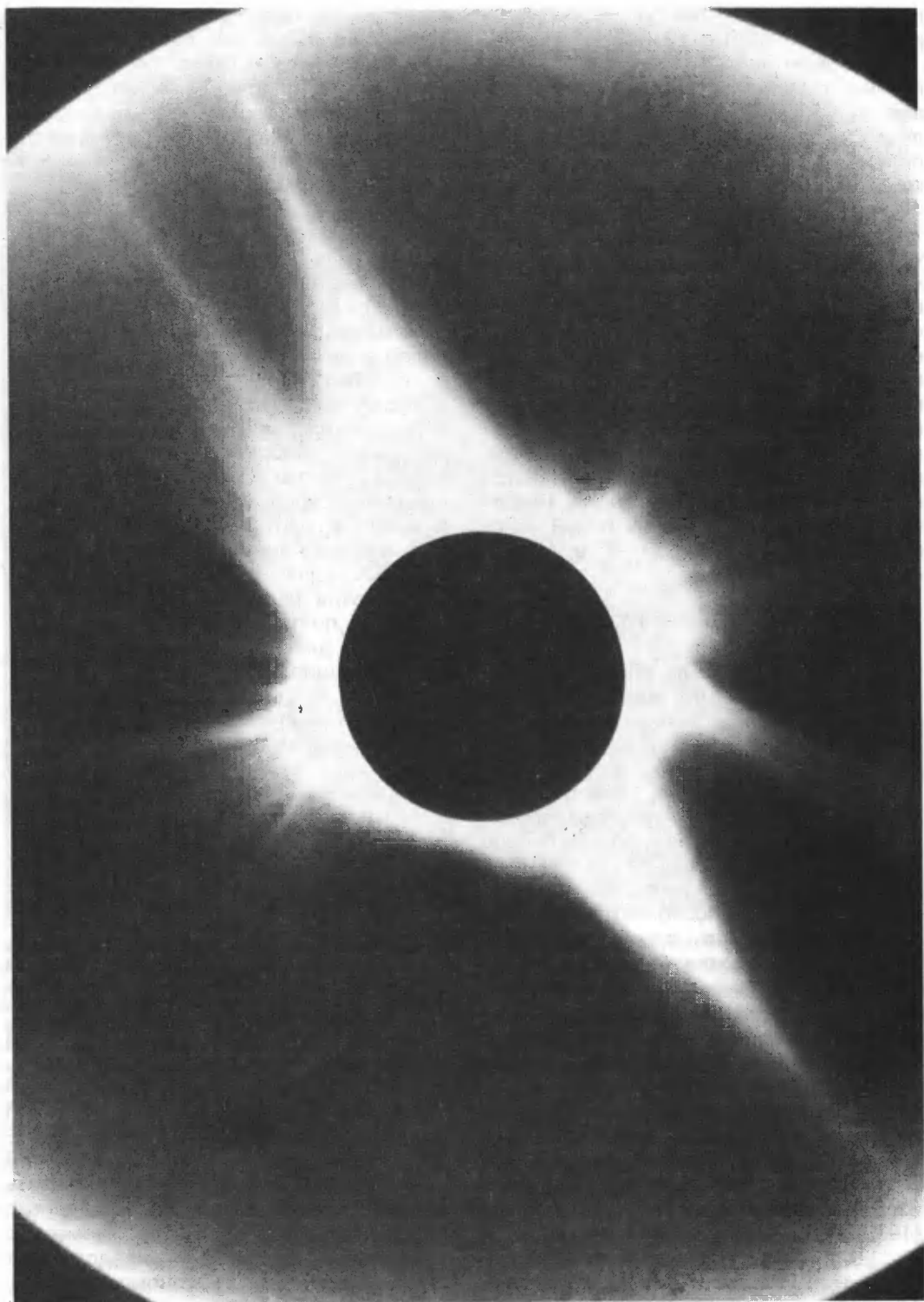
Солнечная корона в белом свете во время затмения 11 июля 1991 г. Раскаленный до миллионов градусов газ растекается во все стороны, вследствие чего возникает солнечный ветер. Единственная сила, способная противостоять этому мощному напору газа, — магнитное поле. Местами оно удерживает газ, и образуются яркие уплотнения в короне — опахала и шлемы, местами — искривляет газовые струи (корональные лучи). Экспедиция АН СССР в Ла-Пасе, Мексика.

не последнюю роль в погодообразующих процессах, по существу есть непрерывно расширяющаяся корона.

И НА СОЛНЦЕ ЕСТЬ ПЯТНА

Полные солнечные затмения случаются не чаще раза в год и видны в течение нескольких минут лишь на ничтожно малой части земной поверхности, поскольку диаметр лунной тени вблизи Земли — не более 270 км, а скорость перемещения — не менее 2000 км/ч. Все остальное время Солнце предстает перед нами в виде ослепительного диска, хотя магнитное поле и нарушает ясную картину, так как существуют пятна. Сакраментальная фраза «и на Солнце есть пятна» известна всем.

Самые крупные из них можно видеть простым глазом, если вооружиться очень темным стеклом или вести наблюдения при восходе и заходе светила, когда его яркость сильно ослаблена большой толщей земной атмосферы вдоль луча зрения. Первым о существовании пятен на Солнце сообщил в 350 г. до н.э. ученик Аристотеля Теофраст из Афин. С 28 г. до н.э. упоминания о пятнах регулярно встречаются в китайских хрониках. В русских летописях подобные явления отмечены в 1365 и 1371 гг., когда полыхали лесные пожары и возникала дымовая завеса. Общеизвестно, что Г.Галилей одним из первых направил зрительную трубу на небо и обнаружил уже вполне достоверно, так сказать, инструментально, темные пятна на Солнце (1611). Справедливости ради следует заметить, что честь этого открытия разде-



ляют с ним еще трое ученых: Й.Фабрициус, К.Шейнер и Т.Гарриот.

Солнечные пятна — это области, где наиболее сильные магнитные поля вырываются из внутренних слоев Солнца на поверхность. Как полагают, поле в 2000—4000 Гс подавляет конвективный перенос энергии под пятном, что приводит к понижению температуры поверхности на ~25% и уменьшению яркости на 80—90%. Механизм воздействия поля на конвекцию не вполне ясен, поскольку присутствие более слабых полей в так называемых фотосферных факелах, напротив, увеличивает их яркость. В целом же в фотосфере магнитные поля играют второстепенную роль, а основными факторами, определяющими равновесие вещества, являются газовое давление и гравитация. Настоящее «царство» магнитных полей начинается над фотосферой — в хромосфере и короне.

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В РАЗРЕЗЕ

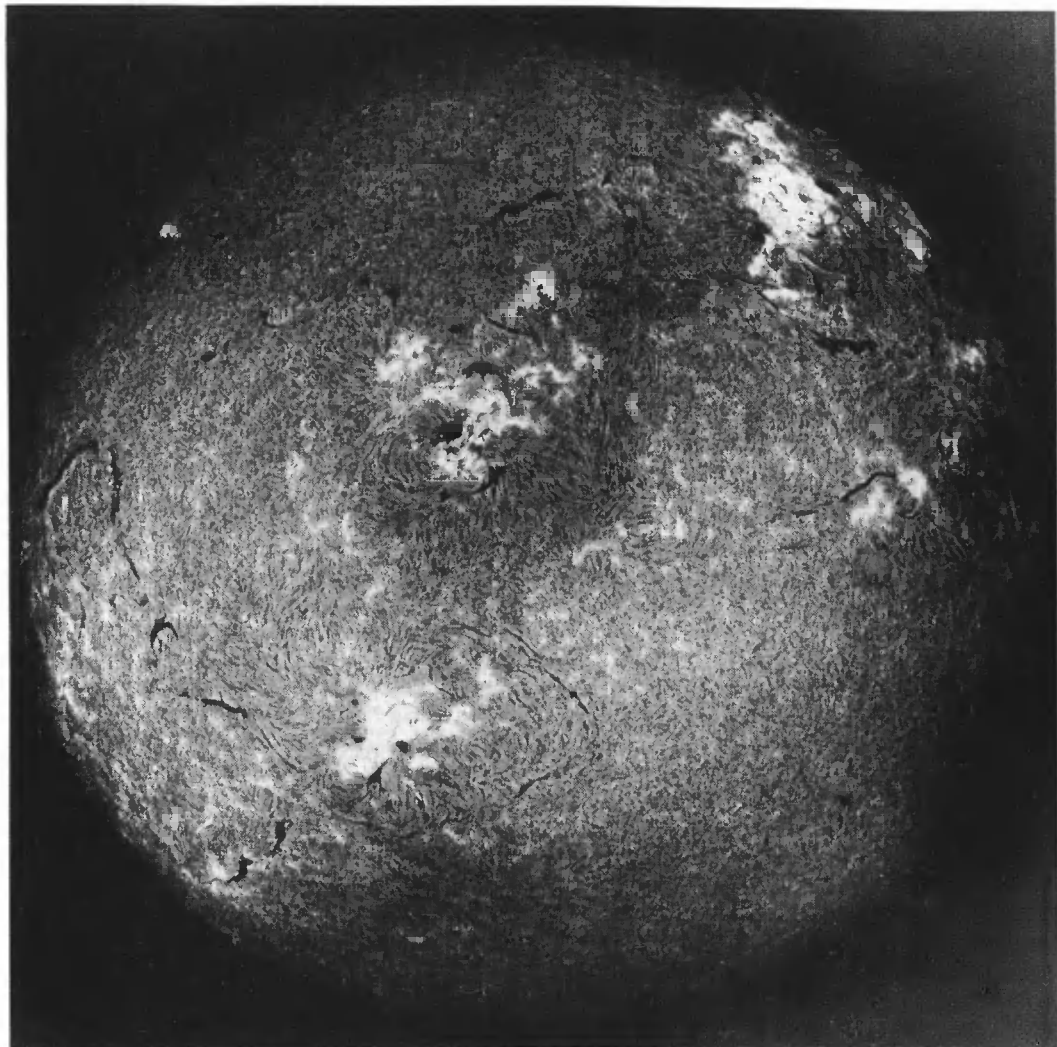
Хромосфера была обнаружена как узкая полоска темно-красного цвета, видимая в начале и конце затмения. Хромосфера рассеивает свет, исходящий из фотосферы, и, кроме того, излучает в отдельных спектральных линиях. Благодаря этому монохроматическому излучению она и получила свое название. В хромосфере образуются также некоторые фраунгоферовы линии поглощения, что позволяет наблюдать ее не только во время затмений. Непрозрачность хромосферы в свете этих линий столь велика, что излучение фотосферы с соответствующей длиной волны до наблюдателя не доходит. Первый прибор для получения снимков Солнца в отдельных спектральных линиях — спектрогелиограф — был сконструирован в 1891 г. американским астрономом Д.Э.Хейлом. Более совершенный инструмент — узкополосный фильтр — изобрел французский ученый Б.Лио (1933).

В 1908 г. Хейл, используя фотопластинки, чувствительные к красной области спектра, снял первую спектро-

гелиограмму солнечного диска в свете бальмеровской линии водорода H_{γ} . Он обнаружил, что картина схожа с той, что возникает, если в магнитное поле поместить лист картона, посыпанный железными опилками: поверхность хромосферы покрыта небольшими темными волокнами (фибриллами), которые выстраиваются в цепочки, подобно опилкам в магнитном поле. Кроме того, он нашел в спектре солнечных пятен характерные проявления эффекта Зеемана и установил тем самым наличие сильных магнитных полей в пятнах.

Сейчас нет сомнений в том, что волокнистая структура хромосферы определяется магнитным полем. Отдельные фибриллы представляют собой участки силовых трубок в пределах хромосферы, заполненных плазмой с плотностью, большей, чем в соседних элементах. А поскольку толщина слоя хромосферы невелика (одна сотая радиуса Солнца), пологие трубки с почти горизонтальным полем образуют длинные фибриллы, а трубки, имеющие вид крутых арок, — короткие. В целом ориентация фибрилл характеризует направление тангенциальной поверхности Солнца составляющей вектора магнитного поля в хромосфере.

Внутри силовой трубки вещество не всегда и не обязательно находится в состоянии гидростатического равновесия. Магнитное поле не препятствует движениям плазмы вдоль трубки. Поэтому фибриллы — это изменчивые, динамичные образования. Время жизни отдельных волокон составляет 10—20 мин. Однако общая крупномасштабная структура сохраняется на протяжении многих часов и даже дней. Ее изменения связаны с эволюцией магнитного поля в масштабе активной области или комплекса таких областей. Время жизни активных областей — несколько месяцев. Если учитывать небольшую толщину хромосферного слоя, то картина, изображаемая с помощью фибрилл, представляет собой сечение крупномасштабного магнитного поля хромосферой.



Снимок Солнца в лучах бальмеровской линии водорода. Поверхность хромосферы имеет тонкую волокнистую структуру, вызывающую ассоциацию с железными опилками в магнитном поле. Волоконца вытянуты вдоль магнитного поля, и их ориентация дает возможность найти направление его тангенциальной составляющей. 24 июля 1981 г., Байкальская обсерватория Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН.

АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ ПОЛЯ

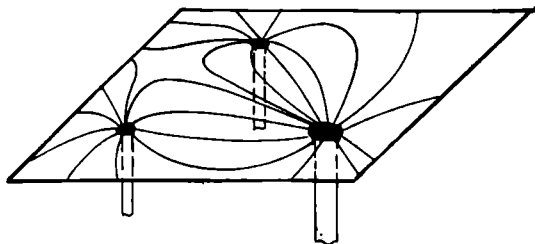
В настоящее время существуют приборы (магнитографы), позволяющие измерять все три компонента магнит-

ного поля на основе эффектов Зеемана и Ханле. Магнитографические измерения довольно сложны технически и для интерпретации, имеют определенные ограничения на чувствительность, пространственное и временное разрешения. Нельзя сказать, что они дают исчерпывающую информацию о поле даже в фотосфере, в линиях поглощения которой в основном проводятся измерения. Поэтому ценны любые другие методы получения данных о поле, особенно в хромосфере и короне.

Как было отмечено выше, тонкая структура хромосферы позволяет ука-

зать направление тангенциального магнитного поля практически в любой точке активной области. Проводя линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением фибрилл, мы получим интегральные линии тангенциального поля, дающие довольно полную и наглядную картину его устройства. Прежде всего выявятся точки, где линии собираются в узлы — истоки и стоки поля. Они совпадают с центрами выходящих на поверхность силовых трубок, генерируемых внутри Солнца. Узлы в основном соотносятся с большими и малыми пятнами, но есть и такие, которые связаны с областями повышенной эмиссии в линиях водорода и ионизованного кальция. Особые точки другого типа — седловые — стараются избегать интегральные линии. Эти точки разграничивают магнитные потоки, принадлежащие различным подфотосферным трубкам.

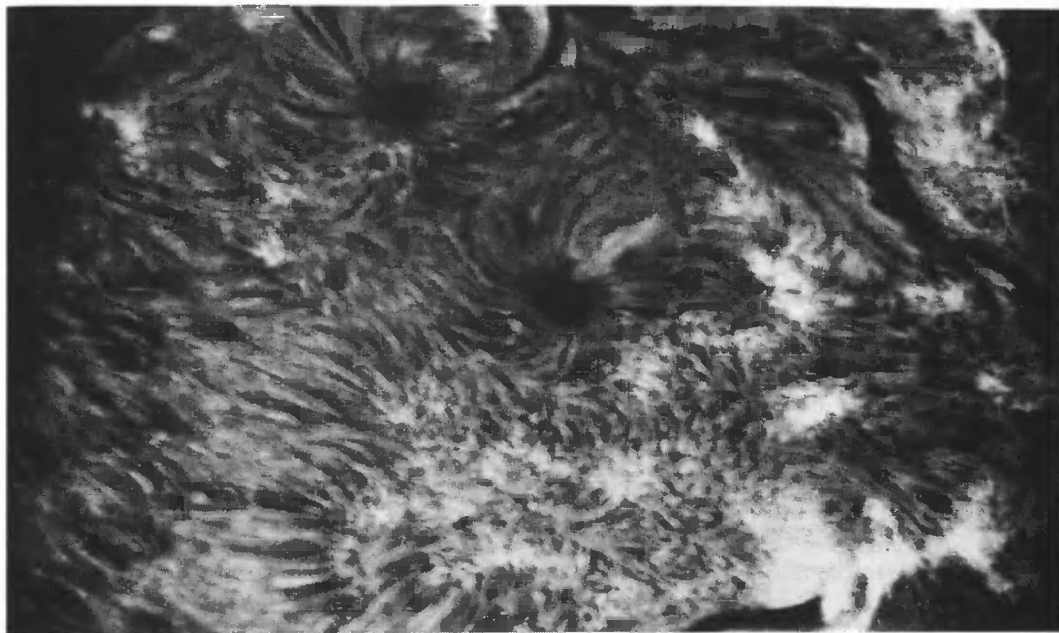
Такая качественная геометрическая картина хорошо отражает топологию магнитного поля на поверхности хромосферы, что важно для изучения вспышек — одной из самых волнующих проблем физики Солнца. Вспышкой называют внезапное и очень быстрое (~10 мин) для временного масштаба обычных процессов на Солнце выделение энергии, проявляющееся в локальном усилении эмиссии, прежде всего в H_α , а также в ультрафиолетовом и рентгеновском излучении, ускорении электронов, протонов и тяжелых ионов. Последствия этого явления ощущаются на Земле в виде возмущений в ионосфере и магнитосфере, что приводит к нарушению радиосвязи на коротких волнах, возбуждению сильных электрических токов в крупных энергосистемах и трубопроводах и др. Единственный подходящий источник энергии солнечной вспышки — магнитное поле активной области, в которой она происходит. Большая часть теорий связывает вспышечный процесс с взаимодействием магнитного потока, только что вышедшего из-под поверхности фотосферы, с потоком, существовавшим в этой области ранее.



Схематическое изображение выхода на поверхность фотосферы магнитных силовых трубок. Показаны интегральные линии тангенциального поля, соединяющие источники противоположной полярности. Каждая трубка создает узловую точку, а на границе магнитных потоков возникает седловая точка.

Поэтому понятна важность топологического анализа сложного поля активной области, нахождения границ магнитных потоков и мест их взаимодействия. Седловые структуры хромосферы позволяют идентифицировать подобные места.

Электрические токи, создающие магнитные поля активных областей, расположены в основном ниже уровня фотосферы. В хромосфере и короне просто нет сил, которые могли бы удерживать в равновесии такие большие токи. Поле выше фотосферы мало отличается от потенциального (токи отсутствуют) или бессилового (токи текут строго вдоль магнитного поля, не испытывая воздействия с его стороны). Поля и того, и другого типа внутри некоторого объема полностью определяются своими значениями на границе области (потенциальное — даже значениями одной нормальной компоненты). Чтобы найти поле в короне, следует решить краевую задачу, используя данные измерений поля в фотосфере. Наиболее распространены расчеты потенциального поля по данным о вертикальной компоненте магнитного поля. Она направлена вдоль луча зрения при наблюдении области вблизи центра солнечного диска; точность ее измерений магнитографом по сравнению с поперечными лучу зрения компонентами значительно выше. Зато как раз направления последних легко могут быть



Седловая точка в хромосфере между двумя пятнами одинаковой полярности. Пятна окружены системой радиально направленных фибрилл, обрисовывающих узел. Снимок сделан 28 июня 1989 г. в линии H α . Горная астрономическая станция Главной астрономической обсерватории РАН, Kislovodsk.

определены в результате наблюдений волокнистой структуры хромосферы. Иногда пытаются использовать оба указанных типа данных для проверки и уточнения расчетов, а также для нахождения отклонений поля от потенциального.

Получить ответ на вопрос, потенциально ли поле, можно, если изучить направления фибрилл. Для этого достаточно построить ортогональные, а не касательные фибриллам интегральные линии. В потенциальном поле это — линии равного потенциала, которые по своей природе должны быть замкнутыми. Если линии не замыкаются (конечно, с учетом точности их проведения и ошибок определения направлений фибрилл), то нельзя считать поле потенциальным. Если же отклонения от «потенциальности» небольшие, тогда, выполняя данную процедуру, мы

получим как бы контурную карту потенциала. Все его изолинии известны, неизвестно лишь, каким значениям потенциала они соответствуют. Таким образом, задача определения поля наполовину решена, и представляется весьма заманчивым получить окончательный результат.

Было бы достаточно иметь распределение потенциала вдоль какой-либо кривой, пересекающей все изолинии. К сожалению, сам потенциал — неизмеряемая величина. Измеряются пространственные производные потенциала — компоненты магнитного поля, а линия, на которой обращается в нуль нормальная компонента поля, может быть определена и без магнитографических измерений, по особенностям структуры хромосферы в ее окрестностях. Эта линия, называемая «линией раздела полярностей» или «нулевой», играет особую роль в физике солнечной активности: вблизи нее происходят наиболее динамичные активные процессы.

Выразив нормальную компоненту поля через неизвестный потенциал путем решения краевой задачи и приравняв ее нулю на линии раздела

полярностей, получим интегральное уравнение Фредгольма первого рода. Нахождение его решения представляет собой некорректную задачу, поскольку отсутствует устойчивость результата по отношению к малым изменениям условий. Впрочем, разработаны методы приближенного решения таких уравнений с использованием регуляризирующих алгоритмов; при этом точность определяется исходными данными. Поэтому принципиально потенциальное поле над хромосферой может быть рассчитано исключительно на основе данных о тонкой структуре хромосферы.

РЕНТГЕНОВСКАЯ КОРОНА

В последние годы появилась возможность наблюдать и корону без всяких затмений. Еще в 1930 г. Лيو изобрел внезатменный коронограф. Но поскольку в белом свете яркость короны в миллион раз меньше, чем яркость фотосферы, легко представить сложность и рафинированность наблюдений в отсутствие затмений. Только в условиях высокогорья при очень чистом небе («корональной погоде») удается получить хоть какое-то изображение. Иное дело при использовании крайнего ультрафиолета и мягкого рентгеновского излучения. В этом диапазоне преобладает тепловое излучение короны, а вклад нижележащих слоев пренебрежимо мал. Однако земная атмосфера непрозрачна для таких длин волн. Возможность наблюдений в рентгеновских лучах появилась только после создания орбитальных обсерваторий.

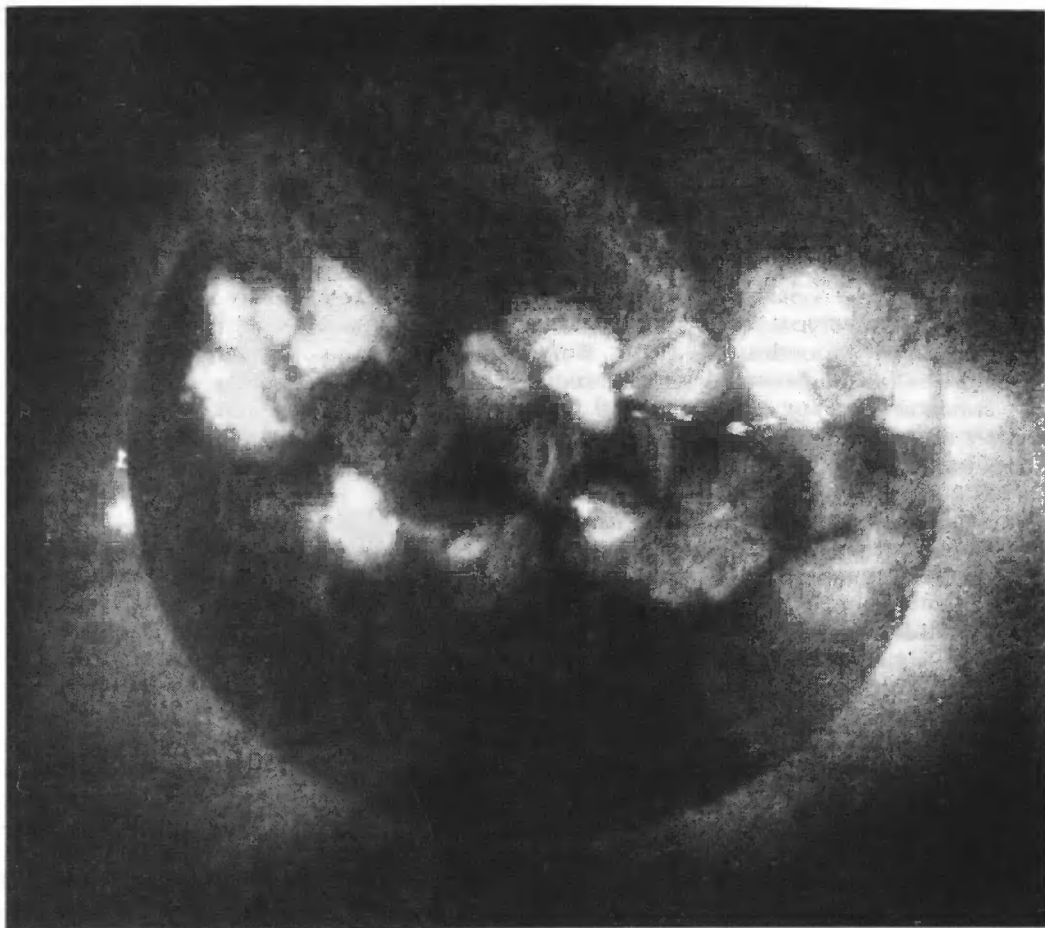
Наиболее совершенный рентгеновский телескоп для исследования солнечной короны установлен на японском спутнике «Yohkoh», запущенном в августе 1991 г., который работает и по сей день. На снимках, получаемых с этого спутника, отчетливо видна структура магнитного поля в короне. Причем в отличие от хромосферы, дающей «разрез» магнитного поля, рентгеновское изображение короны «стереометрическое». Температура ко-

роны в сотни раз выше, чем хромосферы, соответственно во столько же раз больше шкала высот. Яркие тонкие петли поднимаются высоко над поверхностью Солнца и хорошо видны на всем своем протяжении. Наиболее яркие петли относятся к внутренним частям активных областей, где поле сильнее.

Петли покрывают не весь диск, имеются и темные бесструктурные участки, разделяющие системы петель. Считается, что силовые линии, берущие начало в темных рентгеновских областях, не возвращаются назад к поверхности, а уходят в межпланетное пространство. Солнечная корона не пребывает в гидростатическом равновесии, а непрерывно расширяется наружу в виде солнечного ветра. Силовые трубки, замыкающиеся обоими концами на поверхность, способны удерживать горячую корональную плазму и служат магнитными ловушками. Трубки, открытые в межпланетную среду, непрерывно опустошаются, поэтому в них вследствие расширения газа наблюдаются пониженные плотность и температура. Такие области открытых силовых линий, темных в рентгене, называют корональными дырами. Это — источники самых высокоскоростных потоков солнечного ветра.

Рентгеновская корона демонстрирует топологию магнитного поля нагляднее, чем хромосфера, поскольку вместо направлений тангенциального вектора дает изображение силовых линий. Будучи более удаленной от источников, она отражает поведение поля в укрупненном масштабе. Структура поля в нижней короне в основном такая же, как у потенциального поля тех же подфотосферных источников. Вместе с тем вид некоторых петель свидетельствует о присутствии электрических токов. Можно четко различить петли, скрученные в жгут, напоминающие шлемовидные стримеры, но гораздо меньшего масштаба, и др.

В потенциальном приближении, строго говоря, все силовые линии —



Изображение Солнца в мягком рентгеновском излучении, полученное на японском спутнике «Yohkoh». Яркие петли содержат более плотную и горячую плазму. В основном они сосредоточены в активных областях, где имеется сильное магнитное поле. Темные участки — корональные дыры — выделяют открытые магнитные конфигурации. Корональная плазма, расширяясь вдоль силовых линий, уходящих в межпланетное пространство, приводит к возникновению солнечного ветра. Дыра в центре седловой структуры свидетельствует о том, что, хотя потенциальное поле в этом месте должно быть закрытым, оно не в состоянии (ввиду ослабления вблизи нулевой линии) удерживать плазму.

замкнутые, за исключением пары линий, уходящих в бесконечность. Практически открытыми можно считать линии, достигающие достаточно боль-

шой высоты, где поле становится слабым и не может сдерживать расширения короны. Поток плазмы увлекает за собой «вмороженные» силовые линии, вытягивая их в радиальном направлении. При этом генерируются электрические токи, которые оказывают влияние как на межпланетное магнитное поле, так и на поле верхней короны. Воздействие межпланетных токов на корону обычно моделируют с помощью так называемой поверхности источника. Полагают, что начиная с некоторой сферической (или более сложной) поверхности радиусом, примерно равным двум с половиной радиусам Солнца, магнитное поле строго радиально, а внутри нее до фотосферы — потенциально. Решая

краевую задачу с нулевым тангенциальным полем на поверхности источника и измеренным распределением нормальной компоненты в фотосфере, находят потенциальное магнитное поле в короне.

Две характеристики этого поля оказывают влияние на распределение яркости рентгеновского излучения, т.е. плотности и температуры плазмы. Это, во-первых, — геометрия поля: в открытых конфигурациях неизбежно сформируются корональные дыры. Во-вторых, — минимальная величина поля на силовой линии: если поле в каком-либо месте трубки окажется столь малым, что не способно противостоять градиенту газового давления, то трубка, закрытая в потенциальном приближении, будет вытянута за поверхность источника и превратится в открытую.

Первый фактор, как показывают расчеты, является решающим в возникновении крупных корональных дыр в низких и средних широтах солнечной поверхности и, возможно, отчасти — в формировании полярных корональных дыр. (Дыры вблизи полюсов Солнца существуют практически постоянно. За их образование может быть ответственно глобальное дипольное поле Солнца, имеющее открытые силовые линии в полярных областях. Вместе с тем, очевидно, велика и роль второго фактора. Глобальное поле Солнца мало, как малы и высокоширотные локальные поля. Вообще приполярные области труднодоступны для магнитографических измерений из-за большого наклона поверхности к лучу зрения.)

Второй фактор проявляется в образовании время от времени в экваториальной зоне довольно необычных корональных дыр, имеющих очер-

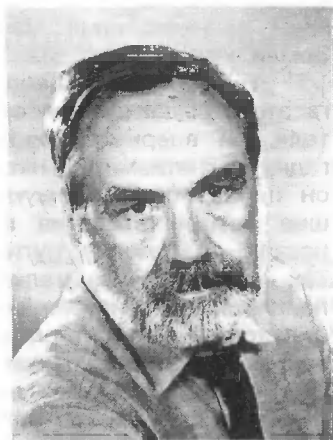
тания астроида или креста. Они обрамлены петлями (которые выглядят гиперболами) такого же типа, как в окрестностях седловой точки. И внешний вид этой структуры, и распределение фотосферных полей свидетельствуют, что здесь имеется магнитная конфигурация с очень высокой степенью симметрии — квадрупольная. В центре квадрупольной конфигурации нет открытых силовых линий, зато есть линия, нормальная поверхности, на которой поле обращается в нуль. Слабость поля вблизи этой «истинно» нулевой линии, вероятно, служит причиной возникновения корональной дыры.

В астрономических масштабах Вселенной магнитное поле играет роль некой «живой» субстанции, которая вносит элементы неожиданности и неопределенности в плавную эволюцию звезд и галактик. Подобно живому организму, оно способно воспроизводить себя вновь и вновь, черпая энергию извне. Время от времени поле внезапно меняет свою структуру, расходуя запасенную энергию на ускорение частиц, возбуждение гидродинамических движений и излучение. С ним связана непрекращающаяся активность в Солнечной системе и во Вселенной.

В солнечной атмосфере магнитные поля предстают в зримом виде. Наглядны многие процессы их трансформации, аналогичные как тем, что происходят в земной магнитосфере, так и тем, что возникают в лабораторных установках. Солнце становится лабораторией, в которой мы постигаем взаимодействие вещества и поля, сложные превращения энергии, активную роль магнитного поля.

Откуда у Земли магнитное поле?

Б.В.Васильев



Васильев Борис Васильевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физико-технических проблем Минатома России. Область научных интересов — физика твердого тела, сверхпроводимость, магнитные явления и магнитные измерения.

ЗАГАДКА ЗЕМНОГО ПОЛЯ

Формулировка вопроса, вынесенного в заголовок статьи, навеяна шуточной репликой, приписываемой Л.Д.Ландау:

«Все можно понять в окружающей природе. Непонятно только, почему есть звезды на небе и откуда у Земли магнитное поле».

За прошедшие десятилетия с того времени, когда были произнесены эти слова, ситуация со звездами во многом прояснилась — это связано прежде всего с развитием теории «большого взрыва». Что же касается земного магнетизма, то здесь вопрос скорее обострился. Благодаря стремительному развитию космической техники стало возможно напрямую измерить магнитные поля всех планет Солнечной системы и некоторых их спутников, а появление новых чувствительных наземных методик позволило получить достоверную информацию о величине магнитных полей многих звезд. Но это не внесло ясности в разрешение вопроса, откуда все-таки у Земли магнитное поле. Он вырос до проблемы происхождения магнитного поля у космических объектов вообще.

Первую, известную науке попытку объяснить происхождение магнитного поля Земли сделал У.Гильберт — придворный врач английской королевы Елизаветы I и выдающийся ученый-естествоиспытатель, заложивший основы современного знания об электричестве и магнетизме. В 1600 г. он выпустил в свет свое знаменитое сочинение (три с половиной века спустя оно было издано на русском языке)¹, в котором

© Васильев Б.В. Откуда у Земли магнитное поле?

¹ Гильберт У. О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле. М., 1956.



Основоположник науки об электричестве и магнетизме У.Гильберт (1544–1603).

попытался объяснить магнетизм Земли намагничиванием слагающих ее пород. Он писал:

«Мы поставили себе целью — для выяснения благородной сущности совершенно неизвестного до сих пор большого магнита, всеобщей материи (Земли) и замечательной и выдающейся силы этого шара — начать с общеизвестных каменных и железных магнитов, магнитных тел и наиболее близких к нам частей Земли, которые можно ощупывать руками и воспринимать чувствами; затем продолжить это при помощи наглядных опытов с магнитами и таким образом впервые проникнуть во внутреннюю часть Земли».

Гипотеза Гильберта не выдержала испытания временем. При этом справедливости ради следует отметить, что ученый сам открыл и описал явление, делающее его гипотезу нереалистичной: он обнаружил, что намагниченность ферромагнетика (магнетита) теряется при нагревании до красного каления,

установив тем самым (если пользоваться современной терминологией) существование точки Кюри. Исходя из имеющихся на сегодняшний день данных о строении Земли, можно определенно утверждать, что внутренняя часть нашей планеты очень горяча, а во внешней коре слишком мало магнетита — гипотеза Гильберта не может объяснить возникновения магнитного поля Земли.

Тем не менее неоспорима заслуга этого выдающегося естествоиспытателя: он впервые сформулировал загадку магнетизма Земли в рамках, как он писал, «добрых наук». За прошедшие четыре столетия многие ученые искали возможные пути ее решения. Так, некоторые считали, что причина появления магнитного поля — генерация тока за счет термоэлектрического эффекта в Земле, связанного с разницей температур между ядром и поверхностью. Однако оценки показывают, что генерируемый при этом ток на много порядков слабее, чем требуется для возбуждения полей наблюдаемой величины.

Многочисленные неудачи на пути использования известных физических эффектов породили попытки привлечь для объяснения возникновения магнитного поля космических тел различные экзотические модели, основу которых составляла видоизмененная электродинамика Максвелла. Для их подтверждения ставились точнейшие опыты, однако в дальнейшем все они были отвергнуты как противоречащие эксперименту.

ЗЕМЛЯ — ДИНАМО-МАШИНА?

В настоящее время для объяснения явления планетарного магнетизма обычно используется магнитная гидродинамическая гипотеза, или динамо-гипотеза. Она была предложена Я.И.Френкелем в конце 40-х годов и является сейчас наиболее разработанной и, можно сказать, общепризнанной. В ее основе лежит неоспоримый факт: в технике динамо-машины с самовозбуждением существуют. Как же работает такая модель?

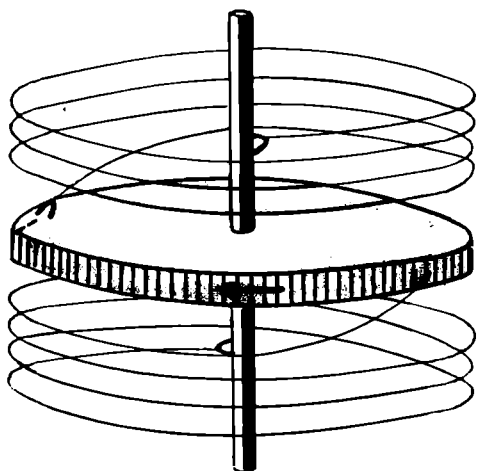


Рис.1. Дисковое динамо, с помощью которого демонстрируется принцип самовозбуждения (Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. М., 1986).

При построении модели (ее электромеханический аналог показан на рис.1) предполагается, что вращение металлического диска происходит в некотором начальном (затравочном) магнитном поле, что приводит к появлению э.д.с. между осью и боковой поверхностью диска. Эта э.д.с., снимаемая с помощью щеток, наводит ток в многовитковой катушке, магнитное поле которой складывается со слабым затравочным полем, и система самовозбуждается. При этом энергия поля создается за счет вращения диска. Согласно динамо-гипотезе, внутри Земли происходит то же самое — только без катушек и щеток — вследствие конвективного движения проводящей магмы. Энергия, необходимая для существования токов магмы, образуется благодаря внутренним источникам тепла. Подбирая соответствующим образом параметры в рассматриваемой модели, удастся вполне удовлетворительно описать генерацию магнитного поля в Земле.

Тем не менее после ознакомления с этой моделью все-таки остается чувство неудовлетворенности. Во-первых, динамо-машины с самовозбуждением специально и искусно сконструиро-

рованы из подходящих катушек, дисков, щеток, и их существование еще не есть однозначное доказательство того, что аналогичный механизм может реализоваться в сферическом теле, заполненном слабопроводящей и очень вязкой жидкостью, конвекция в которой вызвана радиальным градиентом температуры. Во всяком случае прямых экспериментов, подтверждающих данную гипотезу, нет. Во-вторых, магнитные поля в настоящее время обнаружены у различных космических объектов. К этим объектам можно применить динамо-гипотезу, но параметры модели необходимо подбирать в каждом случае независимо. Невозможность описать разные объекты единым набором параметров — слабая сторона модели. В-третьих, для работы механизма динамо необходимо начальное поле, которое может быть усилено. Казалось бы, таким полем обоснованно можно считать галактическое, имеющее величину порядка 10^{-8} Э. Но тогда трудно вообразить, каким образом оно усиливается в звездах до 10^8 Э, а в пульсарах — до 10^{12} Э. А ведь согласно динамо-гипотезе, эти огромные поля не должны были бы существовать без ничтожного затравочного.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ВОЗНИКАЕТ ПРИ ВРАЩЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

Пожалуй, главным аргументом против большинства гипотез, включая динамо-модель, является надежно установленный с помощью наблюдений факт: для всех космических тел, для которых известны значения магнитного μ и механического L моментов, их гиромантическое отношение $\mathcal{G}$ (по порядку величины) одно и то же²:

$$\mu = \mathcal{G}L. \quad (1)$$

Важно, что $\mathcal{G}$ при этом (по порядку величины) простым способом выражается через мировые константы:

² Blackett P.M.S. // Nature. 1947. V. 159. P. 658—666.



Выдающийся русский физик-экспериментатор П. Н. Лебедев (1866—1912). Создатель первой физической школы в России.

$$\vartheta \approx \sqrt{G}/c; \quad (2)$$

здесь G — гравитационная постоянная, c — скорость света. По-видимому, причина указанной закономерности должна быть фундаментальной и универсальной для всех космических тел.

Начало развития такого подхода, согласно которому происхождение земного магнитного поля приписывается движению электрических зарядов внутри нее, связано с именем австралийского геофизика У. Сазерленда. В первые годы текущего столетия он высказал гипотезу о пространственном разделении электрических зарядов: отрицательных — на поверхности, положительных — в объеме планеты. Вращение поляризованного таким образом тела могло бы индуцировать магнитное поле, величина которого соответствовала бы наблюдаемому. При этом, если предположить, что

электризация возникает внутри космического тела за счет действия одного и того же механизма, можно объяснить существование магнитных полей у всех космических объектов единым образом. После того как в 1909 г. было измерено магнитное поле Солнца и оказалось, что отношения магнитных моментов к механическим для Земли и Солнца почти одинаковы, эта идея стала очень привлекательной.

Выдающийся русский физик того времени П. Н. Лебедев поставил серию экспериментов по поиску намагничивания быстро вращающихся тел, электрическая поляризация которых могла бы возникнуть за счет действия сил инерции, эквивалентных силам тяготения. Однако опыты дали отрицательный результат. Примерно через 20 лет американские ученые повторили этот эксперимент и подтвердили вывод Лебедева. Несмотря на заманчивость идеи Сазерленда, ее обоснование наталкивается на трудности, которые пока что представляются непреодолимыми. Во-первых, для того, чтобы внутри космического тела существовала электрическая поляризация, это должно быть энергетически выгодно, а дополнительная кулоновская энергия, возникающая в этом случае, получается очень большой — порядка $\rho^2 R^5$ (ρ — плотность заряда в космическом теле, R — его радиус). Во-вторых, необходимый кулоновский заряд внутри тела должен, по-видимому, привести к огромной напряженности электрического поля вблизи его поверхности. Можно с уверенностью утверждать, что ничего подобного не наблюдается, во всяком случае — для Земли. И, конечно, при обосновании этой гипотезы необходимо понять, почему лабораторные опыты дают отрицательный результат³.

³ В некоторых работах в качестве возражения против механизма генерации магнитных полей за счет электрической поляризации выдвигается соображение, что наземный наблюдатель вообще не должен видеть такого магнитного поля, поскольку движется вместе с вращающимися электрическими зарядами. Это недоразумение связано с неправильным применением преобразований полей при переходе во вращающуюся систему координат.

Решение проблемы возникновения магнитного поля космических объектов получило новый импульс благодаря работам лауреата Нобелевской премии, президента Лондонского королевского общества П.М.Блэкетта⁴, обнаружившего, что на линейную зависимость между магнитными и угловыми моментами кроме Земли и Солнца ложится и звезда 78 Vir, магнитное поле которой было незадолго до этого определено Бэбкокком. При этом Блэкетт, хотя и исходил из неверных посылок, смог вывести выражение для гиромангнитного отношения космических тел [равенство (2)].

Новый, подход в исследовании возможности генерации магнитного поля космическими объектами за счет их электрической поляризации в последние годы развил профессор В.И.Григорьев с коллегами⁵.

Обычно предполагается, что действие гравитационного поля на металл приводит к очень малой электрической поляризации:

$$E \approx mg/Q, \quad (3)$$

где g — ускорение силы тяжести, m — масса и Q — электрический заряд иона.

Несколько упрощая, можно сказать, что основная идея Григорьева базировалась на утверждении о том, что в знаменателе равенства (3) должен стоять суммарный заряд иона и электрона проводимости. Так как кулоновская сила, их связывающая, значительно больше гравитационной силы, действующей на ион, в металлах под влиянием гравитации должно устанавливаться равновесие, при котором ионы смещаются вместе со своими электронными облаками. Суммарный заряд такого образования должен быть близок к нулю. В этом случае, в соответствии с формулой (3), равновесие иона, окруженного электронным



Английский физик П. М. С. Блэкетт (1897–1974). Лауреат Нобелевской премии. Внес значительный вклад в развитие атомной и ядерной физики, физики космических лучей.

облаком, по мнению Григорьева, должно привести к возникновению внутри металла высокой электрической напряженности.

В нашей лаборатории было затрачено немало усилий, чтобы экспериментально проверить эту гипотезу. Постановка опытов была почти такой же, как у Лебедева, но с использованием возможностей, предоставляемых современной экспериментальной техникой: опыты велись в условиях глубокого магнитного вакуума, а в качестве сенсорного элемента был применен сверхчувствительный сквид-магнитометр. Как и в опытах Лебедева, измерялось магнитное поле, которое мог бы индуцировать быстро вращающийся металлический цилиндр. Предполагалось, что электризация образца должна происходить за счет действия сил инерции, эквивалентных тяготению. Его вращение осуществля-

⁴ См. сноску 2.

⁵ Григорьев В.И., Григорьева Е.В. Баро-электрический эффект и магнитные поля планет и звезд. М., 1996.

лось с помощью скоростной воздушной турбинки; при этом в исследуемом металлическом образце (заключенном в прочную оболочку) за счет сил инерции развивались давления до нескольких сотен атмосфер. Результаты измерений показали отсутствие искомого эффекта в твердых металлах, таких как свинец, олово, индий и др. Некоторый не вполне понятный эффект был зарегистрирован при вращении ампулы с жидкой ртутью. Он не был полностью воспроизводимым и, по-видимому, вызывался перемещением ртути внутри ампулы.

Итак, следует констатировать, что лабораторные эксперименты не подтвердили ни одной из выдвигавшихся гипотез. Причина неудач, возможно, связана с тем, что механизм генерации магнитного поля включается только в космических телах и не работает в лабораторных условиях. Может быть, это объясняется действием сверхвысоких давлений внутри космических тел, недостижимых в лаборатории? В таком случае было бы естественно вернуться к вопросу о возникновении внутри космического тела электрической поляризации. А если при этом еще предположить, что электрические явления разыгрываются во внутренних областях, т.е. там, где действуют сверхвысокие давления, то этим же обстоятельством можно было бы объяснить и то, почему не наблюдается огромных электрических полей на поверхности космических тел. Таким образом, некоторые трудности данного подхода вполне преодолимы, если сделать соответствующие предположения. Поэтому основным остается вопрос: почему возникновение электрической поляризации внутри космического тела оказывается энергетически выгодным?

($N+1$)-Я МОДЕЛЬ

Если число моделей, предложенных для объяснения механизма возникновения магнитного поля Земли и других космических тел, обозначить буквой N , то, согласно оценке, дейст-

вительно соотношение $N > 30$. Попытаемся описать еще одну, ($N+1$)-ю модель. В ее основе лежит утверждение, что электрическая поляризация для космического тела в равновесии должна стать энергетически выгодной, если тело достаточно велико.

Для незаряженного космического тела равновесное состояние определяется минимумом гравитационной, упругой и тепловой энергий. При появлении электрической поляризации вещества необходимо также принять во внимание кулоновскую энергию. Оценки показывают, что вклад тепловой энергии в общий баланс, во всяком случае для Земли, невелик, и им можно пренебречь.

Известно, что гравитационная энергия космического тела убывает при уменьшении его радиуса, иными словами: собственное гравитационное поле стремится сжать космическое тело, при этом растет упругая энергия вещества. Равновесие наступает, когда уменьшение энергии, возникающее за счет сжатия тела гравитационной силой, компенсируется сопутствующим возрастанием упругой энергии. Возникновение электрической поляризации вещества (появление дополнительной кулоновской энергии) само по себе энергетически невыгодно. Но вместе с появлением электрической поляризации может уменьшиться упругая энергия тела, в результате изменятся его радиус и гравитационная энергия. Поэтому в принципе нельзя исключить того, что полная энергия тела при этом может уменьшиться, а значит, появление электрической поляризации станет выгодным. Отвергать такую возможность не следует, необходимо провести расчеты равновесия вещества внутри космического тела. Для этого прежде всего надо решить, с каким веществом мы имеем дело или каково его уравнение состояния. Швейцарский ученый Р.Эмден в начале века заложил основы такого расчета, связав плотность вещества с действующим на него давлением функцией, называемой политропой.

Чтобы решить эту задачу, вместе

с уравнением состояния необходимо записать уравнение равновесия. Пока электрическая поляризация отсутствует уравнение равновесия определяется тем, что гравитационная сила γg (где γ — плотность вещества, g — гравитационное ускорение) компенсируется действующим на вещество градиентом давления:

$$\gamma g = \text{grad } P. \quad (4)$$

Если в веществе возникает электрическая поляризация, можно говорить о том, что каждый его атом приобретает небольшой электрический заряд, а в единице объема вещества сосредоточивается заряд ρ . Вследствие этого в веществе возникает электрическое поле E и дополнительная электрическая сила ρE , которая будет направлена против силы гравитации от центра к поверхности звезды. Тогда условие равновесия можно записать следующим образом:

$$\gamma g - \rho E = \text{grad } P. \quad (5)$$

Если

$$\rho E / \gamma g = q, \quad (6)$$

то уравнение равновесия примет вид

$$\gamma g(1-q) = \text{grad } P. \quad (7)$$

В случае $q = 0$ мы имеем незаряженное тело, а при $q = 1$ электрическая сила полностью компенсирует действие гравитации. Силы гравитации гораздо слабее электрических, поэтому для полной компенсации действия тяготения необходим ничтожный электрический заряд: достаточно 10^{-18} от заряда одного электрона, на каждый атом внутри космического тела. Тогда, как следует из равенства (7), градиент давления внутри космического тела исчезнет. Но это не значит, что будет отсутствовать само давление! Действительно, хотя приходящийся на один атом вещества электрический заряд незначителен, суммарная энергия электрического поля, которая будет существовать вне

звезды, огромна. Кулоновская энергия уменьшится, если на поверхность звезды «налипнет» поверхностный заряд со знаком, противоположным знаку объемного заряда внутри звезды, так что сформируется структура, предложенная еще Сазерлендом. В этом случае звезда будет нести заряд с плотностью ρ внутри, но в целом она электронейтральна и кулоновское поле вне звезды отсутствует. В отношении уменьшения кулоновской энергии это выгодно. Но тогда поверхностный заряд, находящийся на заряженном шаре, начнет притягиваться к его центру и равномерно сдвигать вещество, что приведет к уменьшению гравитационной энергии при одновременном росте энергии деформации.

Таким образом, при $q = 0$ вещество космического тела сжато неоднородно: давление $P_0(0)$ в центре очень велико, а на поверхности его нет. При $q = 1$ все космическое тело однородно сжато слоем поверхностного заряда. Действующее на вещество в этом случае давление $P(1)$ получается несколько меньшим; тем не менее его величина имеет тот же порядок, что и давление в центре без электрической поляризации.

Полное отсутствие заряда при $q = 0$ и максимальный заряд при $q = 1$ — два предельных случая. Конечно, расчеты могут показать, что энергетически выгодным окажется некоторый промежуточный вариант.

К сожалению, нелинейные задачи не позволяют найти аналитического решения, результат можно получить только с помощью вычислительной машины. Сложность возникает в основном из-за того, что давление, развиваемое внутри звезды, зависит от плотности вещества в рассматриваемом объеме, которая в свою очередь определяется давлением. Такие расчеты примерно через три десятилетия после создания Р.Эмденом политропной модели сделали независимо С.Чандрасекар и Л.Д.Ландау. Чандрасекар смог их выполнить благодаря тому, что у его учителя, знаменитого английского астрофизика А.Эддингтона

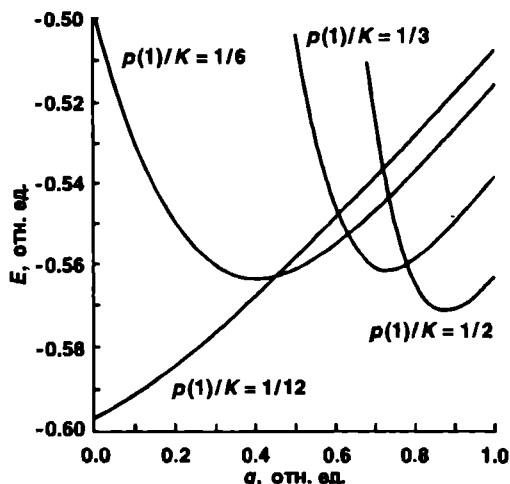


Рис.2. Зависимость полной приведенной энергии космического тела E от электрической поляризации q при разных значениях отношения давления P , обусловленного этой поляризацией, к модулю всестороннего сжатия вещества K . В случае $P(1)/K = 1/12$ появление электрической поляризации энергетически невыгодно; при больших значениях этого отношения минимум энергии смещается в сторону $q \rightarrow 1$.

в Кембридже была достаточно совершенная по тем временам механическая счетная машина. Как делал расчеты Ландау, неизвестно, но, по-видимому, уделял им особое внимание, так как привел результаты в виде графиков⁶.

Решение задачи в общем виде несколько упростится, если в качестве уравнения состояния использовать закон Гука, справедливый для вещества в конденсированном состоянии при небольших деформациях. Такой подход можно считать оправданным при рассмотрении равновесия вещества в планетах и их спутниках. Тогда можно воспользоваться результатами аналитического решения задачи о деформации твердого шара собственным гравитационным полем⁷. Решение получается аналитическим только для случая слабой гравитации, когда деформации

вещества малы, но качественно большие деформации сути дела не меняют. Его особенность состоит в том, что в центральной области шара вещество оказывается сжатым, но примерно на четверти радиуса, прилегающей к поверхности, оно подвергается радиальному растяжению. Это означает, что вдоль направления радиуса растянуто вещество, занимающее почти половину объема шара вблизи поверхности, и в результате при $q=0$ гравитационная энергия получается большой.

Расчеты показывают, что, если $q=1$, то все вещество шара сжимается давлением

$$P(1) = GM^2/(6RV), \quad (8)$$

где M , V и R — соответственно масса, объем и радиус космического тела. В результате радиус такого тела оказывается меньше, а значит, меньше и гравитационная энергия. Упругая энергия при этом меняется не так сильно, поскольку для радиальной деформации растяжение заменяется сжатием.

При $q=0$ твердый шар как бы составлен из двух слоев: внутреннего сжатого, который не вносит большого вклада в гравитационную энергию, и внешнего растянутого, в основном ее определяющего. Возникновение заряда приводит к равномерному сжатию всего шара. Заметное уменьшение гравитационной энергии в этом случае произойдет только для достаточно массивных тел, для которых давление $P(1)$ приближается к модулю всестороннего сжатия K . Ясно, что если космические тела небольшие ($P(1) \ll \ll K$), деформации будут малы, гравитационная энергия сильно не уменьшится, так что возникновение электрической поляризации останется невыгодным.

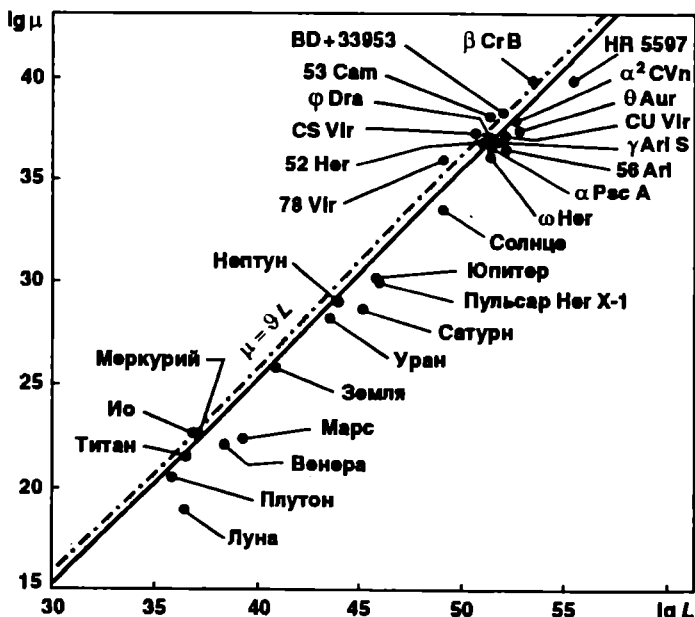
Именно такой результат и дает детальный расчет⁸ для баланса энергии в массивном шаре из вещества, описываемого уравнением состояния,

⁶ Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Часть I. М., 1964.

⁷ Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М., 1964.

⁸ Васильев Б.В. // Nuovo Cimento B. 1995. № 12. V.110. P.1381–1389.

Рис.3. Наблюдаемые значения магнитных моментов μ космических тел в зависимости от их угловых моментов L . Данные приведены в логарифмическом масштабе. По оси ординат — логарифм магнитного момента (нормированного на $1 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3$), по оси абсцисс — логарифм углового момента (нормированного на $1 \text{ эрг} \cdot \text{с}$). Штрих-пунктирная линия — результат расчета, сплошная линия — подгонка по наблюдаемым значениям $\mu(L)$.



переходящим при малых давлениях в закон Гука. В соответствии с результатами этого расчета (рис.2) возникновение заряда в космическом теле становится энергетически выгодным, когда отношение $P(1)/K \geq 0.1$. Для шара с меньшими размерами возникновение спонтанной электрической поляризации энергетически невыгодно. Согласно определению (8), к росту давления $P(1)$ ведет в первую очередь увеличение массы космического тела. Поэтому результат количественного расчета может быть сформулирован по-другому: спонтанная электрическая поляризация энергетически выгодна, если масса тела превышает примерно в 10 раз массу Луны (конечно, при том, что остальные константы составляющего тело вещества — плотность и упругость — остаются типичными для земных условий).

С увеличением давления $P(1)$, т.е. с ростом массы тела, равновесие, соответствующее минимуму энергии, смещается в сторону $q \rightarrow 1$. Поэтому при достаточно больших массах, в соответствии с определением (6), минимуму энергии соответствует плотность связанного электрического заряда

$$\rho \approx G^{1/2} \gamma. \quad (9)$$

На первый взгляд кажется, что существование внутри космического тела электрического поля с большой напряженностью невозможно из-за высокой электропроводности среды. Однако вопрос о том, будут ли перемещаться свободные заряды, зависит не только от разности электрических потенциалов, но и от разности химических потенциалов, уравнивающих действие электрического поля.

Для данного случая электрически поляризованное состояние соответствует минимуму энергии тела. Это означает, что любое перетекание электрических зарядов невозможно, поскольку ведет к повышению энергии системы.

ГИРОМАГНИТНОЕ ОТНОШЕНИЕ

Вращение вокруг своей оси космического тела с указанным выше объемным зарядом (с учетом компенсирующего поверхностного) создает магнитный момент, величина которого определяется равенством Блэкетта (1) с гиромангнитным отношением

$$g = \sqrt{G/3c} = 2.88 \cdot 10^{-15} (\text{см/г})^{1/2},$$

логарифм которого ($\lg g = -14.54$) показан на рис.3 штрих-пунктирной линией.

На этом же рисунке приведены значения магнитных моментов $\mu(L)$ для всех космических объектов, для которых они известны. Данные, использованные при построении этого рисунка, взяты из справочников, обзоров и отчетов об экспедициях космических аппаратов⁹. Для всех указанных звезд, кроме Солнца и пульсара (Her X-1), значения магнитных полей, скоростей вращения и ориентировочные размеры приведены в обзоре Борры и Лэндстрита, однако массы звезд, необходимые для вычисления L , в нем не указаны. Так как все эти звезды относятся к главной последовательности, их массы могут быть оценены по известным размерам. Полученные таким путем угловые моменты для звезд использованы при построении рисунка.

Для Ио — спутника Юпитера — магнитное поле определено с помощью космического аппарата «Вояджер-1» (Несс и др.). В литературе отсутствуют данные об угловой скорости вращения этого спутника. В связи с тем, что за счет действия приливного трения период вращения спутников вокруг оси стремится к периоду их орбитального вращения, при построении рис.3 вместо угловой скорости Ио взято значение обратного периода ее обращения вокруг планеты.

Из расчета по методу наименьших квадратов для наблюдаемых данных логарифм гироманнитного отношения равен

$$\lg g = -(14.82 \pm 0.87).$$

Соответствующая этому равенству прямая нанесена на рис.3 в виде непрерывной линии.

Использование равенства (9), справедливого лишь для больших тел, должно вести к некоторому завышению расчетной оценки. Выпадение Луны из общей зависимости подтверждает, что внутри этого малого космического объекта давления невелики и не способны электризовать составляющее ее вещество.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В заключение отметим самое главное: описанная модель является, по всей видимости, единственной, которая имеет объяснение наблюдаемой зависимости магнитных моментов от механических для космических тел. Так как механические моменты в ряде случаев можно определить, рассмотренная модель позволяет оценить или предсказать величину магнитных полей для некоторых космических тел. Кроме того, становится понятно, почему лабораторные опыты не дают положительного результата: механизм электрической поляризации начинает работать при таких высоких давлениях, которые нельзя получить в эксперименте.

Однако остается непонятным, почему при практически полном отсутствии магнитного поля у Луны, магнитные моменты таких малых по космическим масштабам тел, как Плутон, Ио и Титан, удовлетворительно согласуются с описанной моделью. Их массы того же порядка величины, что и Луны. Может быть, составляющее их вещество обладает другим распределением плотности, от которой зависит давление, или заметно отличающимся модулем всестороннего сжатия?

Но земной магнетизм кроме величины поля имеет и другие характеристики. Как описывает их рассмотренная модель?

Геофизики установили, что существует корреляция между низкочастотными флуктуациями земного магнитного поля и колебаниями скорости вращения Земли. Причина существования такой корреляции теперь очевидна — она заложена в основе модели.

⁹ Allen C.W. *Astrophysical Quantities*. The Athlone Press. 1973; Stevenson D.J. // *Rep. Prog. Phys.* 1983. V.46. P.555—620; Borra E.F., Landstreet J.D. // *The Astrophysical Journal*, Suppl. 1980. V.42. P.421—445; Anderson I. // *New Scientist*. 1986. V.1493. P.21—22; Ness N.F. et al. // *Science*. 1979. V.206. P.966—971; Ness N.F. et al. // *Science*. 1981. V.212. P.211—217; Manchester R., Taylor J. *Pulsars*. San Francisco, 1977.

Важно также отметить, что в рассматриваемой модели знак электрической поляризации, а значит, и знак магнитного момента космического тела, не определены. Но действие тяготения на тяжелые ионы должно было бы вытолкнуть легкие электроны на поверхность, и этот малый эффект мог бы задать предпочтительный знак магнитных моментов — именно такое направление поля имеют в настоящее время Земля и многие другие космические тела. Изменение знака магнитного поля для очень горячих звезд можно объяснить испарением легких электронов с их поверхности. Но измерения со спутников показали, что большие планеты Солнечной системы — Юпитер и Сатурн — также имеют перевернутые (по сравнению с земным) магнитные поля. Есть ли это указание на другой знак электрической поляризации внутри этих планет или причина в другом? Палеомагнитные

данные на Земле также как будто показывают на то, что знак магнитного поля может меняться со временем. По-видимому, правомерно предположение, что это — результат действия динамо.

Возможно, рассмотренный выше механизм несет ответственность за возникновение основного магнитного поля космических объектов. Детальная структура, временная зависимость и направленность основного магнитного поля могут быть объяснены действием динамо, для которого основное поле служит затравочным. В связи с этим представляется, что основная трудность модели динамо, состоящая в отсутствии затравочного поля, может быть преодолена, так как рассмотренный эффект электрической поляризации не ведет к отмене распространенной гипотезы, но дополняет ее механизмом возникновения затравочного поля.

КОРОТКО

● В начале 1995 г. близ Варшавы состоялся международный семинар «Лекарственная политика в странах Центральной и Восточной Европы», организованный Министерством здравоохранения и социального обеспечения Польши и Всемирной организацией здравоохранения. В нем участвовали специалисты из Белоруссии, Польши, России, Словакии, Словении, Чехии, Эстонии, а также представители ВОЗ и ЕЭС. Обсуждались проблемы регистрации лекарственных средств (включая законодательство, фармацевтическую инспекцию), правильное врачебное назначение лекарств (с учетом не только эффективности

ти, но и доступности препарата), дотирование лекарственных средств.

Новости фармации и медицины. 1995. № 4—5. С.117—120 (Польша).

● Национальная федерация по охране живой природы США провела опрос общественного мнения об ограничении промышленного использования диоксинов. На эту акцию откликнулись 1300 частных лиц и 361 природоохранная организация, которые потребовали от Агентства по охране окружающей среды США запретить все производственные процессы, идущие с образованием диоксинов, а

также добиться в течение пяти лет устранения хлоридов из промышленности по производству бумаги, растворителей и пластиков. В программу действий Федерации входит не только изучение общественного мнения, но и надзор за продвижением в Конгрессе специального законопроекта, ограничивающего производство диоксинов и других токсичных химикатов.

International Wildlife. 1995. V.25. № 3. P.27 (США).

Роль эндосимбиозов в эволюции водорослей

Ю.Т.Дьяков



Юрий Таричанович Дьяков, доктор биологических наук, соросовский профессор, заведующий кафедрой микологии и альгологии биологического факультета Московского университета. Область научных интересов — популяционная и эволюционная биология грибов, физиология и генетика фитопатогенных грибов, генетика и селекция съедобных грибов.

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ СХЕМЫ ВЫСШИХ И НИЗШИХ ОРГАНИЗМОВ

Эволюцию организмов принято изображать в виде дерева. Построить корректное эволюционное дерево можно лишь имея достаточно оснований для постулирования неких положений, среди которых для нашего повествования важны два: четкое разделение форм на исходные (низшие) и производные (высшие); отсутствие конвергентных возвратов к связям между ранее разошедшимися группами форм.

Не вдаваясь в объяснение возможных математических и биологических причин, на которых основаны закономерности комбинаторики признаков, отмечу лишь, что у высших тканевых организмов (растений и животных) оба правила соблюдаются. Это позволяет строить более или менее достоверное эволюционное дерево для каждого организма.

У низших организмов, к каковым относятся водоросли, построение эволюционного дерева сопряжено с большими трудностями. Воспользуюсь примером, взятым из книги Г.А.Заварзина¹: из четырех родов одноклеточных водорослей первый (хламидомонада) имеет два жгутика и хлоропласт, подвижен; второй (хлорелла) также имеет хлоропласт, но лишен жгутиков и неподвижен; третий (политома) имеет жгутики, но лишен хлоропласта; наконец, у четвертого (прототеки) нет ни хлоропласта, ни жгутиков. Какой из этой четверки организмов первичен и

© Дьяков Ю.Т. Роль эндосимбиозов в эволюции водорослей. (Статья подготовлена на основе обзорной лекции для соросовских учителей.)

¹ Заварзин Г.А. Фенотипическая систематика бактерий. М., 1974.

форма таллома	о к р а с к а т а л л о м а			
	зеленая	желто-зеленая	золотистая	красная
монадная	1	2	3	
кокцид-ная	4	5	6	7
нитчатая	8	9	10	11
пластинчатая	12	13	14	15

Параллелизмы в мире водорослей. 1 — *Chlamydomonas*; 2 — *Chlorocardium*; 3 — *Chromulina*; 4 — *Chlorella*; 5 — *Botrydiopsis*; 6 — *Epichrysis*; 7 — *Porphyridium*; 8 — *Micropora*; 9 — *Tribonema*; 10 — *Nematochrysis*; 11 — *Bangia*; 12 — *Stigeoclonium*; 13 — *Heteropedia*; 14 — *Phaeodermatium*; 15 — *Erythrocladia*.

какой произведен зависит, как любил говорить Н.В.Тимофеев-Ресовский, от точки зрения. Если считать, что эволюция шла по пути приобретений, то в основе эволюционной группы надо помещать прототеку, а на вершине — хламидомонаду. Допустив, что в данной группе хлоропласт и жгутики первичны и эволюция шла в направлении потерь, хламидомонаду и прототеку надо поменять местами. Наконец, этапы приобретений и потерь также можно менять местами: сначала теряются жгутики, затем хлоропласт (хламидомонада — хлорелла — прототека); сначала теряется хлоропласт, затем жгутики (хламидомонада — политома — прототека).

Такая свободная комбинаторика признаков усложняет построение эво-

люционной системы водорослей. Если составить таблицу, где горизонтальные ряды разделены по морфологическим признакам, а вертикальные — по окраске тела (таллома), то большинство клеток этой таблицы будет заполнено. Поэтому классифицировать водоросли можно двумя путями: большие группы делить на основании морфологии, а таксоны низшего порядка — по окраске таллома или наоборот. Классификаторы XIX в. шли первым путем, и только в начале нашего столетия немецкий ботаник А.Пашер создал современную классификацию водорослей, основанную на наборе их пигментов. Однако внутри высоких таксонов (отделов) классификация водорослей продолжает основываться на морфологии, что при наличии описанных выше параллелизмов приводит к большим казусам. Например, современная филогенетическая система зеленых водорослей полностью перекроила традиционные морфологические системы².

² McCourt R.M. Green algal phylogeny // Trends in Ecol. Syst. 1995. V.10. P.159—163.

Используя традиционные взгляды на эволюцию, очень трудно оценить связи между отделами зеленых, красных, бурых и других водорослей. Система водорослей принципиально отлична от высших растений и представляет собой эвклидовы параллельные линии, не пересекающиеся ни в начале, ни в конце, ни в середине.

Чем же обусловлен этот параллелизм форм, приводящий в изумление исследователей? Главная его причина заключается в том, что сходство образа жизни и способов питания обуславливает сходные каналы эволюции. Фундаментальный признак, положенный Р. Уиттэйкером в основу разделения организмов на царства, — способ извлечения энергии (фототрофы, зоотрофы, осмотрофы) — определяет особенности строения организмов³. Но этим, видимо, не ограничивается генетическое обеспечение параллельной эволюции. У талломных организмов (прокариот и низших эукариот) обнаружены механизмы передачи отдельных генов и даже целых геномов, обеспечивающие быструю адаптацию к условиям жизни. Один из важнейших путей такой передачи — симбиогенез.

ТЕОРИЯ СИМБИОГЕНЕЗА

Идея о том, что эвкариотная клетка есть набор симбиотически существующих более простых организмов, возникла у ботаников около 100 лет назад. А.С.Фаминцина в России на нее натолкнула симбиотическая природа лишайников, а А.Шимпера в Германии — способность к саморепликации хлоропластов в клетках растений. Эта идея была развита русскими ботаниками К.С.Мережковским и Б.М.Козо-Полянским, но долгое время оставалась не более чем экстравагантной гипотезой, каковую можно встретить в любой области науки. Однако после того, как биохимики обнаружили сходство в

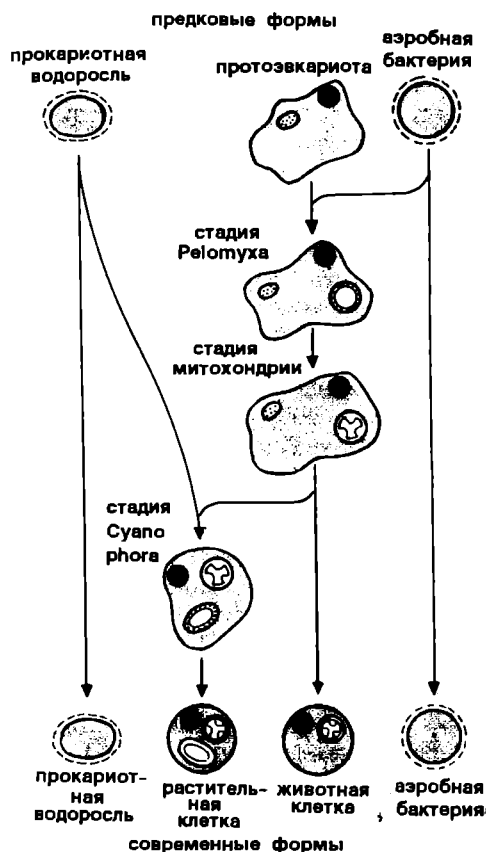
химической структуре нуклеиновых кислот и белков митохондрий и хлоропластов, с одной стороны, и прокариотных организмов — с другой, эта гипотеза получила серьезные материальные подтверждения.

В 80-х годах американская исследовательница Линн Маргелис сформулировала современную теорию симбиогенеза, согласно которой эвкариоты возникли из прокариотного предка и включившихся в него аэробных бактерий, постепенно утративших часть своих генов и превратившихся в митохондрии⁴. Внутриклеточный обмен генами между ядром и митохондриями обнаружен у некоторых грибов. Переход от симбиотрофных бактерий к митохондриям можно наблюдать у крупной факультативно анаэробной амёбы *Pelomyxa palustris*, в клетках которой имеется ядро, но нет митохондрий. Их функцию выполняют симбиотические бактерии, которые передаются потомству при делении клеток. Они обеспечивают амёбе аэробное дыхание и разрушают гранулы запасного углевода гликогена.

Хлоропласты по симбиогенетической теории произошли из организмов, сходных с современными цианобактериями (сине-зелеными водорослями), которых поглотил амёбоидный предок эвкариотных водорослей. Примером такого захвата служат простейшие морские одноклеточные цианобактерии, которые содержат фотосинтезирующие органеллы, подобные клеткам сине-зеленых водорослей с рудиментарной клеточной оболочкой, — цианеллы. Однако в отличие от свободно живущих цианобактерий в цианеллах нет запасных продуктов (гликогена и цианофициновых гранул), поскольку продукты фотосинтеза быстро перехватываются хозяйской клеткой. Цианеллы потеряли дыхание, способность к фиксации атмосферного азота; длина их ДНК составляет лишь десятую часть от ДНК свободно живущих клеток и сравнима по раз-

³ Whittaker R.H. New concepts of kingdoms of organisms // Science. 1969. V.163. P.150—160.

⁴ Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М., 1983.



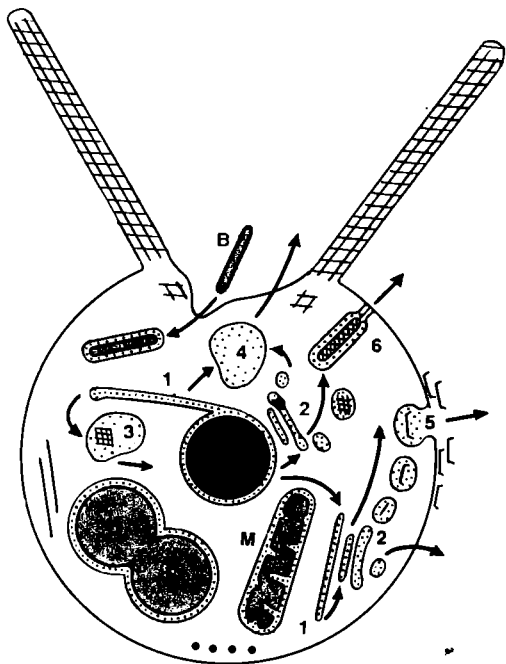
Этапы эндосимбиотического происхождения митохондрий и хлоропластов (по Watley & Watley, 1984).

меру с ДНК хлоропластов. Часть генома цианобактерии также была передана ядру клетки хозяина.

Это стало очевидным после исследования молекулярной структуры белков, кодируемых как ядерным, так и хлоропластным геномом. К примеру, фермент хлоропластов рибулэзо-1,3-бифосфат карбоксилаза/оксигеназа (RubisCO) представляет собой сложный мультимер, состоящий из длинных (LSU) и коротких (SSU) единиц. Оказалось, что у сине-зеленых, красных, бурых и некоторых других водорослей (хлорофилл *a* или *a+c*) крупные и мелкие субъединицы синтезируются в пластидах, а у зеленых водорослей и высших растений (хлорофиллы *a+b*) крупные субъединицы кодируются геномом пластид, мелкие — ядерным. Следовательно, передача части генов, контролирующих синтез RubisCO, произошла у предков зеленых водорослей⁵. А у золотистой водоросли *Ochromonas danica* короткая субъединица обнаружена даже в митохондри. Ген фактора элонгации пластидного белка *tufA* у зеленых водорослей из классов Chlorophyceae и Ulvophyceae (отдел Chlorophyta в современной системе зеленых водорослей) находится в пластидах, а у водорослей из класса Charophyceae и высших растений (отдел Anthocerotophyta)

⁵ Haksman P. et al. Cytosymbiosis // Progress in Botani. 1989. V.51. P.21—47.

Клетка эвкариотической водоросли и ее компоненты. Эндомембранные компоненты: 1 — эндоплазматическая сеть; 2 — диктиосомы; 3 — микротельца; 4 — вакуоль; 5 — пузырьки, содержащие чешуйки; 5 — трихоцист. Эндосимбиотические организмы и органеллы: В — бактерии; С — хлоропласт; М — митохондрия.



Таблица

Пигменты и структура фотосинтетического аппарата водорослей

Отделы водорослей*	Хлорофиллы				Фукоксантин и близкие каротиноиды	Фикобилипроте- ины	Число тилакоидов	Число оболочек пластиды
	a	b	c	d				
Сине-зеленые	+					+	1	—
Прохлорофитовые	+	+					2—много	—
Красные	+			+		+	1	2
Криптофитовые	+		+			+	2—3	4
Зеленые	+	+					2—много	2
Эвгленовые	+	+					1—3	3
Динофитовые	+		+		+		1—3	3
Золотистые	+		+		+		3	4
Гаптофитовые	+		+		+		3	4
Диатомовые	+		+		+		3	4
Желто-зеленые	+		+		+		3	4
Бурые	+		+		+		3	4

* В таблице приведен ботанический список наиболее крупных отделов в широком толковании понятия «водоросли». Два первых отдела — цианобактерии и прохлорофиты, вследствие прокариотного строения клетки, к водорослям в узком понимании (как к группе эвкариотных организмов) не относятся.

phyta) — в ядре, т.е. перенос гена из хлоропластов в ядро произошёл после разделения предковой зеленой водоросли на две эволюционные линии — хлорофит и харофит.

Многие эвкариотные водоросли выполняют функции пластид у морских и пресноводных беспозвоночных. Если в клетках живут одноклеточные зеленые водоросли, то такие ассоциации называют зоохлореллами, а если динофитовые, имеющие желто-бурую окраску, — то зооксантеллами. В клетках некоторых парameций содержится до тысячи водорослевых клеток, изменивших свой обмен в сторону, благоприятную для хозяина: они теряют в окружающую среду (хозяйскую клетку) до 80% продуктов фотосинтеза против 10—15% у свободноживущих форм. Меняется тип организации эндосимбионта: свободноживущие динофлагелляты имеют монадный (подвижный) таллом, а те же организмы внутри морских беспозвоночных (медуз, коралловых полипов и др.) — неподвижный коккоид-

ный. Вероятно, внутриклеточное существование полезно не только хозяину, но и эндосимбионту. Показано, например, что свободноживущие клетки хлореллы, а также выделенные в культуру из парameций и гидры, часто растворяются (лизированы) от внутривирусной инфекции, но в эндосимбиотическом состоянии лизис никогда не наблюдается.

Известны и еще более экзотические случаи симбиоза. Так, гастроподный моллюск *Elysia viridis* питается морской зеленой водорослью *Codium fragili*, клетки которой поглощаются фагоцитозом и перевариваются. Однако хлоропласты водоросли не растворяются, а продолжают длительно (до трех месяцев) функционировать в новом хозяине.

Теория эндосимбиотического происхождения эвкариотной клетки снимает многие трудности ее постепенного превращения из прокариотной и принята с теми или иными вариациями большинством биологов. Органеллы эвкариотной клетки, возникшие из

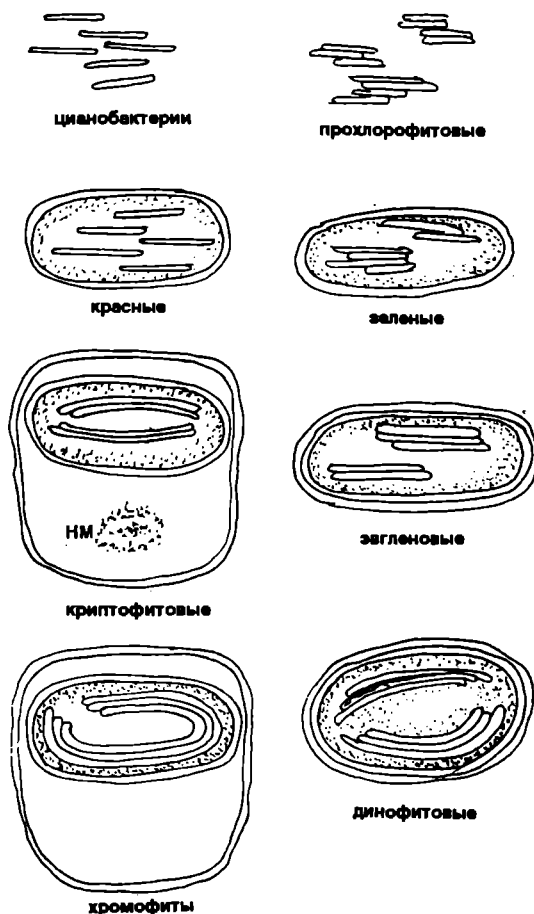
ранее самостоятельных организмов, получили название ксеносом. В дальнейшем появились данные о том, что симбиоз возникал неоднократно уже между эукариотными организмами. Причем возможен двойной и даже тройной эндосимбиоз, вследствие которого в клетки некоторых водорослей, как в матрешку, вставлены друг в друга более мелкие клетки. Такие организмы называют гетайрокариотами (от греч. *hetairos* — компаньон)⁶.

ЭНДОСИМБИОЗ И ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ЛИНИИ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Эндосимбиоз как генеральная линия макроэволюции низших организмов не может не учитываться при построении классификационных схем. Эндосимбиотические фотосинтезирующие организмы или исторически превратились в хлоропласты, или выполняют их фотосинтетические функции. Поэтому исследования хлоропластов и связанных с ними фотосинтетических пигментов играют важнейшую роль в понимании филогенетических связей между крупными таксонами.

Как известно, большинство отделов водорослей названы по преобладающему цвету их клеток (красные, бурые и т.д.). Это говорит о том, что пигменты имеют исключительное значение для разделения больших групп. Среди пигментов водорослей выделяют три главные группы, отличающиеся по химическому составу и спектральным характеристикам.

Хлорофиллы. Все высшие растения содержат два типа хлорофиллов: *a* и *b*. У водорослей все сложнее: у всех имеется хлорофилл *a*; у зеленых и эвгленовых присутствует и хлорофилл *b*; у красных — *a* и *d*, у остальных групп (золотистые, диатомовые, желто-зеленые, бурые и др.) — *a* и *c*. Таким образом, по составу хлорофиллов можно выделить четыре группы водорослей: сине-зеленые; красные; зеленые и эвгленовые; остальные, у



Ультраструктура фотосинтетического аппарата водорослей. НМ — кулеоморфа.

которых в окраске преобладают желто-буро-бурые тона, называют хромофитами (табл.).

Каротиноиды. Многочисленные пигменты каротиноидной природы у водорослей часто маскируют зеленый цвет хлорофилла, окрашивая клетки в различные оттенки желтоватых и буроватых тонов (подобно тому, как это происходит с осенними листьями высших растений). Одна из многочисленных функций каротиноидов — улавливание коротковолнового света (сине-

⁶ Howe C.J. et al. Plastid origins // Trends in Ecol. Evolut. 1992. V.7. P.378—383.

зеленого), проходящего в более глубокие слои воды, чем длинноволновый, на который настроены хлорофиллы *a* и *b*. Специфические каротиноиды (фукосантин и др.) содержатся у хромофит, в то время как каротиноиды зеленых водорослей и высших растений сходны.

Фикобилипротеины. Эти пигменты также улавливают коротковолновый свет и расширяют возможности адаптации водорослей к обитанию в местах с различной интенсивностью и спектральным составом света. Фикобилипротеины обнаружены у представителей лишь трех отделов водорослей: сине-зеленых, красных и криптофитовых. В зависимости от максимума поглощения лучей их разделяют на фикозеритрины (красные пигменты) и фикоцианины (синие пигменты).

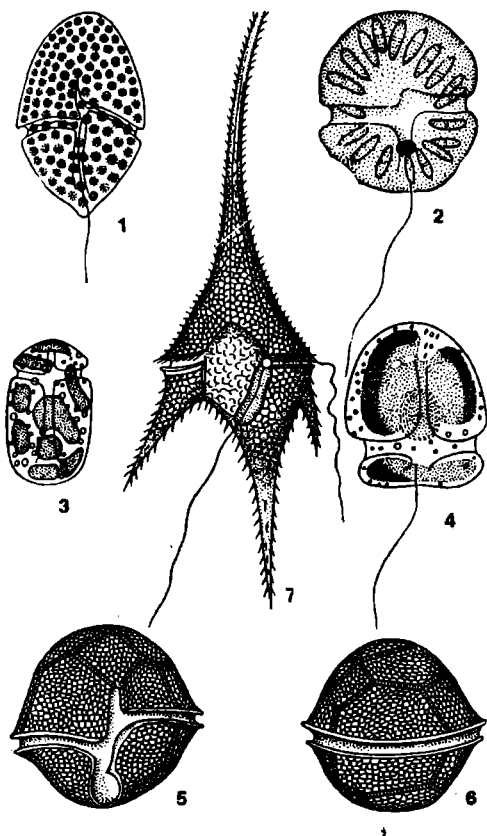
Итак, зеленую окраску зеленым и эвгленовым водорослям придают хлорофиллы *a* и *b*, желтовато-коричневые тона хромофитам — хлорофилл *c* и каротиноиды, фиолетово-красный и голубоватый цвет красным и сине-зеленым — фикобилипротеины. Поскольку зеленая окраска большинства водорослей (кроме зеленых) маскируется другими пигментами, их пластиды называют не хлоропластами, а хроматофорами. В отличие от хлоропластов высших растений они разнообразны не только по окраске, но и по форме.

Ультраструктура хлоропластов у разных водорослей также различна. У сине-зеленых хлоропласт как отдельная структура отсутствует, но в периферической части клетки расположены уплощенные мембранные пузырьки (тилакоиды), содержащие фотосинтетические пигменты. У красных водорослей такие же одиночные ламеллы, подобные тилакоидам сине-зеленых, окружены общей мембранной оболочкой. У группы хромофит длинные, часто огибающие хлоропласт, ламеллы соединены в пачки по две-три. Наконец, у зеленых водорослей имеется несколько укороченных ламелл, образующих стопки, подобные гранам хлоропластов высших растений.

Интересные данные получены при изучении оболочек, покрывающих хроматофоры. Только у красных и зеленых водорослей оболочка состоит из двух мембран; у эвглен и динофитовых водорослей — их три, у криптомонад и всех хромофитовых водорослей — четыре, причем наружная мембрана связана с рибосомами и ядерной оболочкой, т.е. представляет собой продолжение эндоплазматической сети, а пара внутренних мембран тесно примыкает к ламеллам.

Дополнительные оболочки хлоропластов обусловлены их эндосимбиотическим происхождением. Водоросли, имеющие хлоропласты лишь с двумя оболочками, приобрели их в результате трансформации прокариотного эндосимбионта. Внутренняя мембрана — оболочка самого эндосимбионта, наружная — эндоцитозная мембрана, которая его поглотила. Сходство строения и пигментного состава фотосинтетического аппарата сине-зеленых и красных водорослей указывает на происхождение хлоропласта красных водорослей из сине-зеленого симбионта. Поскольку багрянки не имеют жгутиков, а их мужские гаметы (спермации) лишены плотной оболочки и способны к амебоподобным движениям, по-видимому, симбионт был захвачен амебоидным предком красных водорослей. Переходный вид — *Synpidium caldarum* — одноклеточная термофильная водоросль, имеющая эвкариотное ядро, но примитивное строение клетки и лишенная хлорофилла *d*. Дальнейшая эволюция багрянок шла по линии приобретения хлорофилла *d*, усложнения строения хроматофора и многоклеточности.

Вторая эволюционная линия — зеленые и эвгленовые водоросли. В 1975 г. была найдена одноклеточная прокариотная морская водоросль *Prochloron* — эктосимбионт колониальных асцидий, которая имела хлорофиллы *a* и *b*, тилакоидную систему, сходную с хлоропластами зеленых водорослей, и не имела, в отличие от цианобактерий, фикобилипротеинов. По остальным



Динофитовые (пресноводные) водоросли: 1 — *Gymnodinium fuscum*, 2 — *Gymnodinium paradoxum*, 3 — *Amphidinium geitleri*, 4 — *Katodinium planum*, 5–6 — *Peridinium cinctum*, 7 — *Ceratium hirundinella*.

признакам (структуре ДНК, строению клеточной стенки, составу липидов) *Prochloron* не отличался от цианобактерий. Затем в пресных озерах обнаружили нитчатые водоросли с такими же клетками, как и *Prochloron*, названные *Prochlorothrix*. Эти находки вызвали сенсацию, ибо был найден прямой прокариотный предок зеленых водорослей, а через них и всех высших растений. Однако в последние годы энтузиазм в отношении этой гипотезы несколько приутих, поскольку рибосомальная РНК цианобактерий оказалась ближе к хлоропластной, чем рРНК *Prochloron*.

У эвглен третья мембрана хло-

ропласта свидетельствует о его вторичном происхождении. По ряду признаков эвгленовые водоросли близки к беспозвоночным животным из группы трипаносом. У них имеется глотка и они способны к миксотрофному (смешанному) питанию, аналогично трипаносомам устроены жгутики, такая же поверхность клетки (пелликула), примерно одинаков аминокислотный состав цитохрома с. В то же время набор пигментов хлоропласта, как у зеленых водорослей. Предполагают, что хлоропласт эвглен возник из эндосимбиотической зеленой водоросли, поглощенной предковой зоофлагеллятой, а дополнительная мембрана в хлоропласте — это плазмалемма эндосимбионта или пиноцитозная мембрана хозяина. Хорошими химическими маркерами мембран служат стерины, специфичные для разных групп организмов. У позвоночных животных в составе мембран преобладает холестерин, у растений — фитостерины, у грибов — эргостерин. У эвглен на двух внутренних мембранах хлоропластов стерины такие же, как и у одноклеточной зеленой водоросли хламидомонады, а в третьей мембране — как у трипаносом⁷. Значит, хлоропласт эвглен действительно возник из эвкариотного эндосимбионта, а его наружная мембрана представляет собой везикулярную мембрану хозяина.

Эволюция линии хромофит связана с приобретением хлорофилла с и специфического набора каротиноидов. Непосредственный прокариотный предшественник их не известен, но наличие четырех мембран в оболочке хлоропластов говорит о многократных симбиозах. Возможные переходные формы между примитивными красными водорослями типа *Cyanidium* и хромофитами следует искать среди одноклеточных монадных водорослей — криптомонад. Они содержат хлорофиллы а и с (как хромофиты),

⁷ Melkonian M. Systematic and evolution of the algae // *Progress in Botany*. 1982. V.44. P.315–344; 1991. V.52. P.271–307.

фикобилипротеины (как багрянки), но по строению жгутиков больше похожи на зоофлагеллят, чем на фитофлагеллят. В пространстве между парами наружных и внутренних мембран хлоропластов у них обнаружены крахмал, эвкариотные 80S рибосомы (в хлоропластах содержатся 70S рибосомы прокариотного типа) и нуклеоморфа — тело, покрытое двойной мембраной с порами. Нуклеоморфа содержит фибриллы, окрашивающиеся подобно ядрышку, сходные с конденсированными хромосомами три палочковидные частицы. Размеры хромосом нуклеоморфы — 195, 225 и 240 тыс. пар оснований. Таким образом, нуклеоморфа криптонад имеет самый мелкий геном среди эвкариот (660 тыс. пар оснований). Последовательность оснований 18sPHK нуклеоморфы близка к красным водорослям, в то время как 18sPHK ядра — близка к зеленым.

Эти данные доказывают, что криптонады возникли в результате появления внутри зоофлагелляты (среди криптонад сохранилось много бесцветных видов) эндосимбионтной одноклеточной водоросли, содержащей фикобилипротеины. В ходе постепенной редукции от эндосимбионта сохранился хлоропласт, 80S рибосомы, остаток ядра в виде нуклеоморфы, несколько микротрубочек. Недавно нуклеоморфа обнаружена и у зеленой амебы *Chlorarachnion reptans*, но наличие хлорофиллов *a* и *b* указывает на ядро зеленой водоросли как ее предка.

Интересна группа одноклеточных подвижных водорослей динофлагеллят, которые также имеют много черт простейших беспозвоночных. Отдельные этапы расхождения генетического материала при клеточных делениях у них промежуточные, между про- и эвкариотами, поэтому их иногда называют мезокариотами. У некоторых видов динофлагеллят в клетке обнаружено два ядра: одно — мезокариотное, а второе — эвкариотное, но редуцированное, явно чужое; оно отделено от цитоплазмы дополнитель-

ной мембраной. Двухъядерные виды вместо обычного для динофитовых каротиноида перидина содержат фукоксантин, их хлоропласт включает ламеллы из трех элементов — тилакоидов и, кроме тройной мембраны, связан с эндоплазматической сетью, окружающей и второе ядро. Полагают, что виды, имеющие два ядра и фукоксантин, возникли вследствие поглощения диатомовой или золотистой водоросли. Найдены виды динофлагеллят, содержащие кроме эндосимбионта из хромофитовых водорослей криптонаду, в происхождении которой в свою очередь участвовали красная и зеленая водоросли, а также амеба и зоофлагеллята. Таким образом, одна клетка этой гетайрокариоты построена из семи клеток различного типа!⁸

Согласно гипотетической схеме эндосимбиотической эволюции водорослей, можно выделить три эволюционные линии — родофиты, хлорофиты и хромофиты, которым разные классификаторы присваивают различные ранги — от отделов до царств.

Родофиты (красные водоросли) — одни из древнейших растений (их находили в докембрийских отложениях), которые благодаря фикобилипротеинам встречаются как в неглубоких пресных водоемах (немногочисленны), так и на дне морей, (образуют заросли самых глубоководных фотосинтезирующих организмов). Несмотря на то, что эти организмы претерпели длительную морфологическую эволюцию (от одноклеточных микроскопических до сложно устроенных макроскопических талломов), эволюцию способов размножения и жизненных циклов (от простого деления до оогамного полового процесса с формированием уникальной стадии карпоспорофита), они сохранили удивительное единство. Даже традиционное деление на два класса (*Bangiophyceae* и *Florideophyceae*) после деталь-

⁸ Sitte P., Eschbach S. Cytosymbiosis and its significance in cell evolution // Ibid. 1992. V.53. P.29—43.

ного цитологического изучения стадии *Conchocelis* ставится под сомнение. Дело в том, что диплоидная стадия высших бангиевых водорослей (*Conchocelis*) по строению и химическому составу клеток фундаментально отличается от гаплоидных стадий (у первых — наличие центральной вакуоли, пор с пробками в поперечных перегородках нитей и целлюлозы, у вторых — нет пор в клеточных стенках и центральной вакуоли, а клеточная стенка из ксилана), но сходна с флоридеями. Такие различия двух стадий жизненного цикла свидетельствуют скорее в пользу включения одного организма в жизненный цикл другого, нежели о раздвоении простого жизненного цикла на гаплоидный и диплоидный. Если это так, то в эволюции багрянок эндосимбиоз сыграл решающую роль. Около 20% красных водорослей — своеобразные паразиты более крупных видов. Они образуют на поверхности хозяина сеть нитей, откуда впрыскивают в клетки хозяина свои ядра, которые там интенсивно делятся и вытесняют хозяйские. Сосуществование в одном талломе ядер разных видов багрянок могло стать основой для разделения жизненного цикла на две стадии с химическими, кариологическими и морфологическими различиями между ними.

Багрянки — тупиковая ветвь эволюции (если не принимать всерьез внешне привлекательной, но противоречащей многим фактам гипотезы происхождения от них сумчатых грибов).

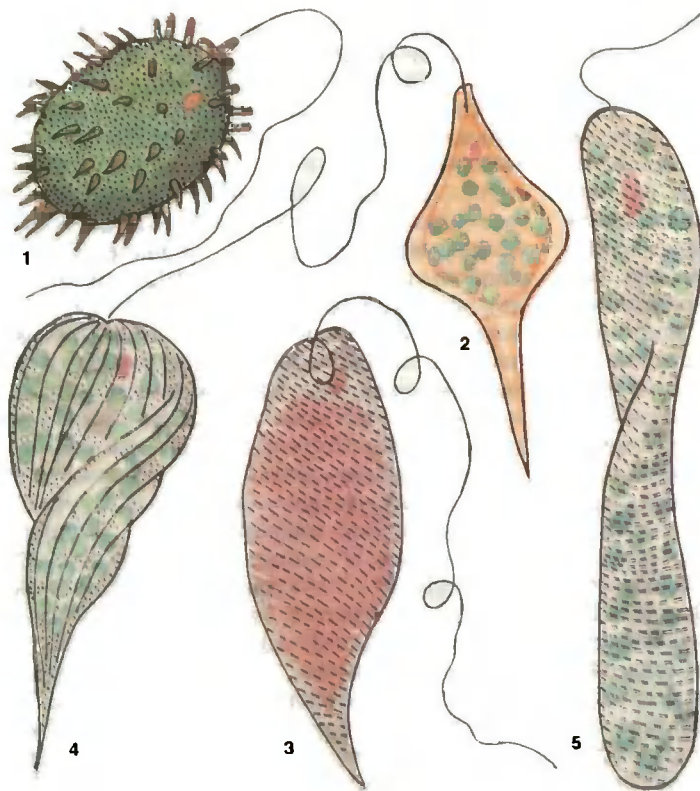
Хлорофиты (водоросли, содержащие хлорофиллы *a* и *b*) — гораздо более разветвленная группа. По последним системам их разделяют на два отдела — *Chlorophyta* и *Anthracatophyta* с несколькими классами в каждом⁹. Первый — тупиковый; второй включает наряду с зелеными водорослями высшие растения. Комплексные исследо-

вания морфологии, цитологии, метаболизма и структуры генома позволили построить эволюционное дерево, объединяющее крупные группы линии зеленые водоросли — высшие растения.

Значительно более сложен анализ эволюционных связей **хромофитовых** водорослей. Их эволюция связана с многократными эндосимбиозами, в которых принимали участие не только про-, но и одноклеточные эвкариоты. Это подтверждается многочисленными данными: во-первых, наличием четырех мембран хлоропластов; во-вторых, строением жгутиков и механизмов их крепления в клетке (жгутиковых корней). Жгутики считают очень консервативной и, следовательно, таксономически важной структурой. У красных водорослей жгутиков нет, у зеленых — 2–4 (редко больше) одинаковых гладких жгутиков, причем место их прикрепления, наличие или отсутствие чешуек, детали строения аппарата прикрепления служат важными признаками для разделения отделов и классов. У хромофит известны виды с одним, двумя, тремя и более жгутиками, жгутики могут быть гладкими и перистыми, одинаковыми и различными. И, наконец, в-третьих — клеточными покровами, которые у разных видов представляют собой перипласт, пелликулу, теку, клеточную стенку, чешуйки, панцири, домики; построены из белков, углеводов, карбонатов, силикатов.

Все это свидетельствует о том, что в основе крупных таксонов, составляющих линию хромофит, находились весьма разные бесцветные флагеллаты. Хлорофилл *c*, присущий этим водорослям, отличается от хлорофилла *a* отсутствием в молекуле многоатомного спирта фитола, т.е. мог многократно возникать в результате делений, которые оказывались селективно полезными для глубоководных видов вследствие того, что хлорофилл *c* более активно, чем хлорофилл *a*, поглощает коротковолновую часть видимого света. С дру-

⁹ Sluman H.J. A cladistic evolution of the lower and higher green plants (Viridiplantae) // Plant Systemat. Evolut. 1985. V.149. P.217–232.



Эвгленовые водоросли: 1 — *Frachelomonas bituricensis*, 2 — *Strombomonas ensifera*, 3 — *Euglena sanguinea*, заполненная гематохромом, 4 — *Phacus longicauda*, 5 — *Euglena ehrenbergii*.

гой стороны, родственные зоофлагеллаты могли использовать в качестве первичных эндосимбионтов одноклеточные водоросли из самых разных групп. Недавно обнаружена динофлагеллята из морфологического рода *Gymnodinium*, у которых хлоропласты имеют не буроватый, а зеленый цвет и содержат хлорофиллы *a* и *b*. Каждый хлоропласт имеет две оболочки и пачку из трех тилакоидов. Несколько находящихся в клетке хлоропластов окружены двумя мембранами, в которые также включены рибосомы и подобное ядру (нуклеоморфоподобное) тело. Предполагают, что предком хлоропласта была зеленая одноклеточная водоросль из класса *Prasinophyceae*. Может быть, поэтому содержащие хлорофилл *c* криптофитовые и динофитовые водоросли запасают продукты фотосинтеза в форме цепочек из молекул глюкозы, соединенных α -связями (крахмала), в то время как другие водоросли из

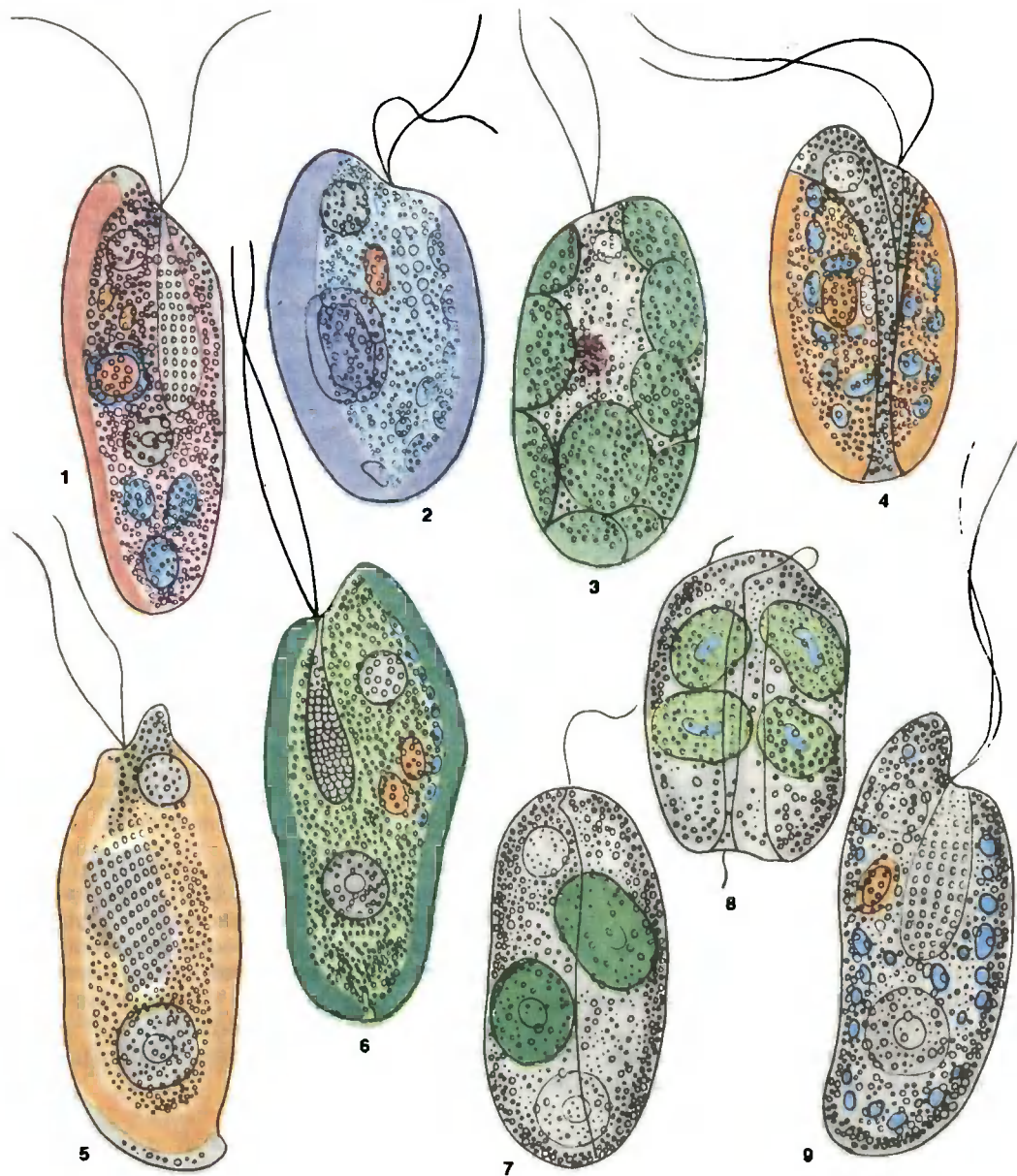
линии хромофит, содержащие хлорофилл *c*, имеют β -глюканы (ламинарин, лейкозин и др.).

Хромофиты достигли вершин морфологической эволюции водорослей (в классе бурых водорослей) и дали несколько бесхлорофильных ветвей — псевдогрибов (лабиринтуломитеты, оомицеты), многие из которых вызывают массовые болезни водорослей, водных и наземных высших растений.

*

Таким образом, у водорослей наблюдается три типа эволюций.

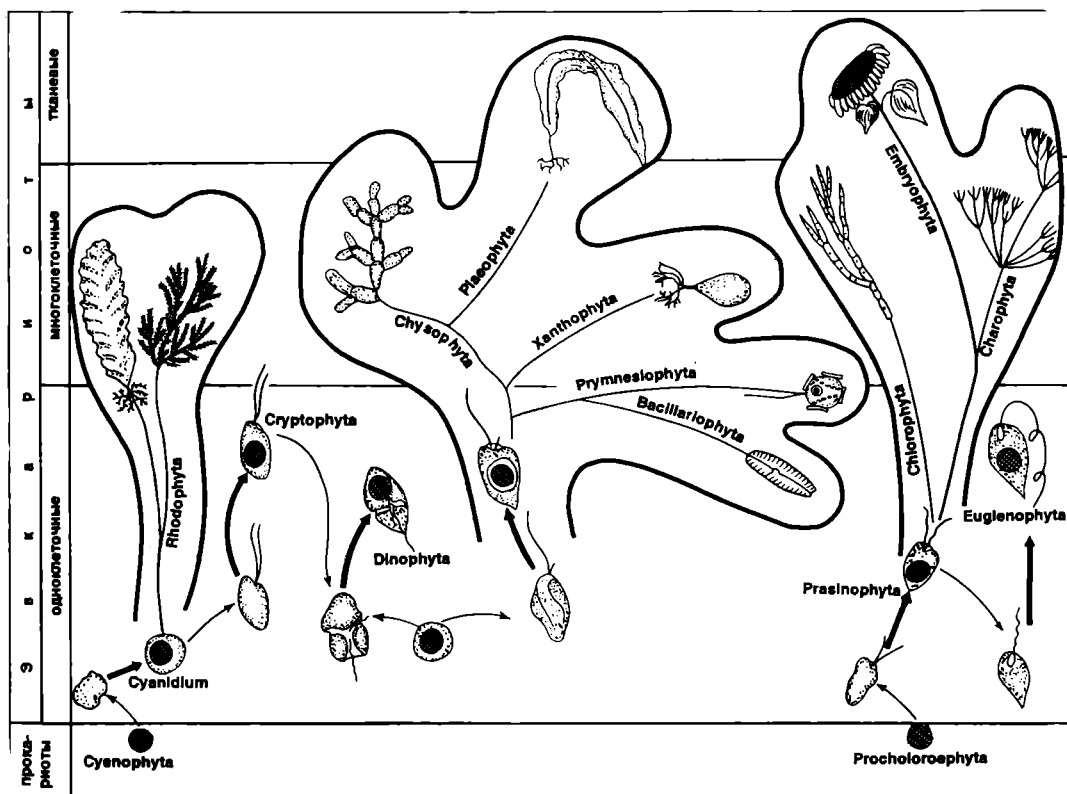
Параллельные ряды морфологической эволюции (мбнадный, пальмеллоидный, коккоидный, нитчатый и т.д. талломы), на которых построена система Пашера и которые лежат в основе прогрессивной эволюции организмов внутри многих классов зеленых, золотистых, желто-зеленых водорослей.



Криптофитовые водоросли: 1 — *Rhodomonas tenuis*, 2 — *Chroomonas coerulea*, 3 — *Cyanomonas americana*, 4 — *Cryptochrysis commutata*, 5 — *Cryptomonas curvata*, 6 — *Cryptomonas platynris*, 7 — *Cyanophora paradoxa*, 8 — *Cyanophora tetracyana*, 9 — *Chilomonas paramecium*.

Эволюция в виде дерева, характерная для высших эукариот. Такой тип эволюции, при котором морфологические усложнения сопряжены с эволюцией способов размно-

жения и жизненных циклов и протекают совершенно по-иному в разных эволюционных стволах водорослей, описан для красных водорослей из класса Florideophyceae, зеленых из



Гипотетические эволюционные линии водорослей. Заштрихованы фотосинтезирующие клетки или органеллы.

классов Ulvophyceae и Charophyceae, бурых.

«Матрешечная» эволюция, обусловленная превращением внутриклеточных симбионтов в покрытые мембранами органеллы. Этот тип эволюции, обеспечивающий самые глубокие морфологические преобразования, характерен для одноклеточных фитофлагеллат (эвглёновых, криптофитовых, динофитовых водорослей), но несомненно лежит в основании большинства классов хромофит.

точных симбионтов в покрытые мембранами органеллы. Этот тип эволюции, обеспечивающий самые глубокие морфологические преобразования, характерен для одноклеточных фитофлагеллат (эвглёновых, криптофитовых, динофитовых водорослей), но несомненно лежит в основании большинства классов хромофит.

Затерянный мир плато Мар-Кюель

А. Н. Махинов,

кандидат географических наук

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН
Хабаровск

ЭТО плато расположено вдали от больших населенных пунктов, и попасть сюда можно только самолетом. Оно очень напоминает затерянный мир, описанный А. Конан Дойлем в одноименном романе. Чтобы понять, где находится плато Мар-Кюель и как оно образовалось, придется оперировать более крупными географическими объектами восточной части древней Сибирской платформы. Здесь она граничит с Монголо-Охотским горным поясом, ширина которого не превышает 150 км. Все пространство от края платформы до охотского побережья занимают средневысотные сильно расчлененные горы Джугджура. Хребты и поднятия этой обширной горной системы служат мировым водоразделом между Тихим и Северным Ледовитым океанами. Поэтому такие крупные реки, как Мая, Юдома и Учур, текут не на восток к близкому морю, а на север, в бассейн Лены.

Хребты Кет-Кап и Лурикан огромным полукольцом с запада отделяют восточный край платформы от остальной ее части. Это способствовало сохранению здесь от размыва известняков и доломитов, образовавшихся сотни миллионов лет назад.

Значительно позже, 40—60 млн. лет назад, река Учур «прорезала» узким ущельем хр. Лурикан и углубилась на сотни метров. Притоки Учюра, энергично врезаясь, начали разрушать выровненный плато-

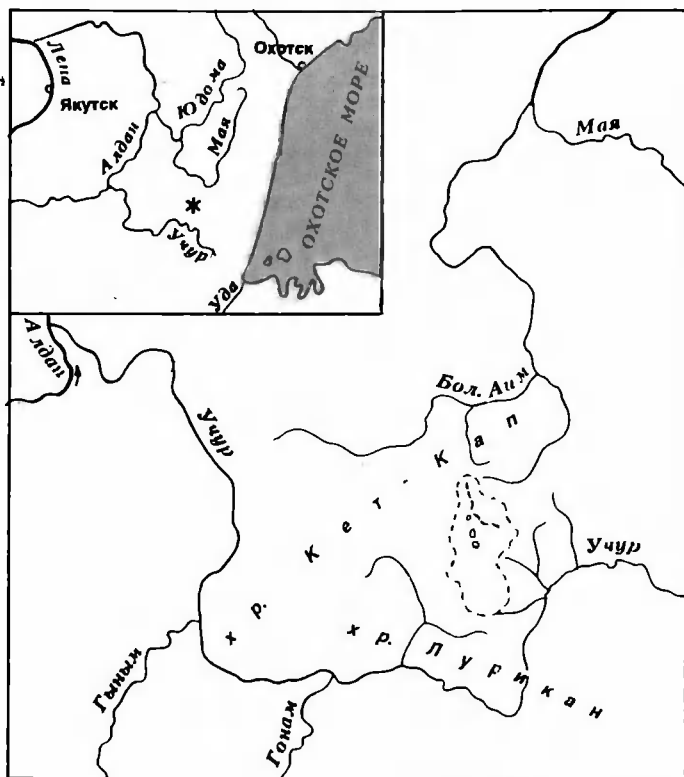
форменный рельеф разрастающейся сетью каньонов и ущелий. Однако этому процессу неожиданно нашлось мощное препятствие.

Трещины и древние карстовые полости в известняках, оказавшись выше речных русел из-за углубления долин, перехватили весь поверхностный сток. Широкие ложбины древних долин остались без воды. Поэтому рельеф был законсервирован на десятки миллионов лет. Он сохранился до наших дней в виде обширного высокого плато площадью около 1 тыс. км² к югу от хребта Кет-Кап.

Лишь местами в ложбинах, образующих густую сеть в пределах плато, остались обрывки прежних рек. Течение в них медленное, и вода, не достигая притоков Учюра, исчезает под землей в глубоких воронках.

Для таежной зоны с многолетнемерзлыми грунтами и хорошим атмосферным увлажнением (осадков более 400 мм/год) отсутствие со-

Положение бессточной области плато Мар-Кюель в междуречье Большого Анны и Учюра (на врезке сверху плато обозначено звездочкой).





*Озера из группы Северный Мар-Кюель.
Фото В.М.Салаева*

*Низкие берега озер постепенно разрушаются
термокарстовыми процессами.*





По берегам озер протягиваются крутые склоны древнейших долин.

Фото автора

временного поверхностного стока с такой большой площади следует считать географическим курьезом.

Плато резкими ступенчатыми обрывами поднимается над долиной Учюра. Отсюда к центру поверхность плавно снижается и поэтому его края кажутся изуродованными какими-то чудовищными силами. Местами вдоль уступа группами застыли причудливые каменные изваяния — денационные останцы, сохранившиеся от разрушения наиболее твердых пластов. Они похожи на стражей этих мест и как будто специально скопились на небольшой площади, чтобы следить за покоем огромного плато.

На дне слепых широких долин разбросаны озера. Они имеют карстовое проис-

хождение и выделяются весьма причудливо изрезанной береговой линией. Особенно живописна и интересна в природном отношении группа озер под названием Северный Мар-Кюель. Здесь находится несколько десятков мелководных водоемов, соединенных между собой различными по форме и ширине протоками. Наиболее крупное из озер — Константиново — имеет площадь около 7 км².

Мы исследовали о.Ханталба — самое южное из группы северных Мар-Кюельских озер. По размерам оно невелико: ширина — 300, а длина — 400 м. Глубина озера на середине — 1,75 м. Удивительно, что в нем, как и в других озерах этой группы, нет рыбы. При этом по химическому составу, цвету и вкусу вода ничем не отличается от воды многих озер Якутии и Магаданской области, в которых рыба водится. Да и в о.Ханталба живут моллюски, личинки на-

секомых, а по берегам лягушки. Поэтому отсутствие ихтиофауны здесь остается загадкой, которую еще предстоит разрешить.

Берега озера живописны, хотя низки и болотисты. Однако изрезанность береговой линии, небольшие заливы и полуострова разнообразят пейзаж, открывая за каждым поворотом новые, неповторимые ландшафты.

Вокруг озер на десятки километров раскинулись лиственничные леса, хорошо чувствующие себя на торфяной, местами переувлажненной почве. Густой подлесок из березки Миддендорфа и кедрового стланника, обилие ягод привлекают сюда множество зверей и птиц. Медведи, дикие северные олени, лоси — наиболее типичные обитатели этих мест. Среди птиц преобладают водоплавающие. Для них здесь настоящее раздолье.

По соединяющим протокам вода перетекает через

всю озерную систему и севернее их образует речку Ардъях, которая через 15 км исчезает, уходя в глубокие карстовые полости. И таких слепо заканчивающихся рек с развитой речной сетью на плато несколько.

Широкие понижения древних долин сложены хорошо окатанной галькой, хотя по их дну во многих местах реки сейчас не текут. Здесь преобладают заросли березки Миддендорфа с редкими кустиками курильского чая. Местами встречаются бугристые торфяники с обилием ягод — брусники, клюквы, морошки и голубики. Болота и торфяные почвы задерживают почти все осадки и отдают их в течение всего лета постепенно. Поэтому уровень озер сильно не колеблется.

Уходящая в карстовые полости вода стекает под землей к южному и юго-восточному краю плато, где поступает на поверхность в виде мощных источников или раскредоточенных по долинам рек выходов подземных вод. Зимой (а она в этих краях очень суровая) в долинах рек вокруг плато возникают протяженные наледы, сохраняющиеся до середины лета.

Особенно эффектен и впечатляющ исток подземной реки в долине р. Сэлиндэ. В крутом склоне за тысячи лет сформировалась огромная воронка в виде ледникового кара. У подножья ее из-под земли появляется мощный поток,вливающийся в речку Сэлиндэ в нескольких километрах ниже. Даже зимой сток не прекращается, в результате чего в долине образуются гигантская наледь, поражающая воображение всех, кто ее наблюдал.

Российский академик А. Ф. Миддендорф в 1844 г. на пути из Якутска к Удской губе сделал первое научное описание этой наледы, отметив ее размеры, строение льда с

включением песка и дресвы, форму ледовых образований и динамику водного потока по льду. Известный исследователь наледей О. Н. Толстухин был восхищен зимним пейзажем в окрестностях наледы, когда деревья и кустарники вдоль искрящихся берегов бурлящего в мороз потока укутываются толстым слоем пушистого инея.

Подземные реки и полости плато Мар-Кюэль еще никто не изучал. Их общая протяженность может составлять тысячи километров на разной глубине от поверхности земли. И вполне вероятно, что этот район в будущем, когда откроются его подземные тайны, станет уникальным заповедником, каких нет больше нигде на Земле.

Сейчас богатейшие природные ресурсы и рекреационные возможности этой территории используются очень слабо. С 1930-х годов в окрестностях хр. Кат-Кап, примыкающего к плато с севера, начали разрабатываться россыпи золота. Со временем число выявленных золотоносных рек во много раз увеличилось. Они полукольцом охватили плато, и с их разработкой связана почти вся хозяйственная деятельность в этом районе. Россыпи постепенно истощаются, но здесь обнаружены коренные месторождения золота, которые уже в ближайшее время будут осваиваться. Сейчас на берегу озер Северный Мар-Кюэль находится крупная база старателей, откуда ведется планомерное освоение минеральных ресурсов Аяно-Майского района Хабаровского края.

Коренное население — эвенки — немногочисленны и занимаются оленеводством, ведя полукочевой образ жизни. В поселке старателей Мар-Кюэль они живут в современных домах, смотрят передачи телевиде-

ния, пользуются современной почтовой связью. В окрестностях озер, где сосредоточены лучшие оленьи пастбища, часто можно увидеть летние стоянки с загонами для оленей и высоким помостом, на котором ставится палатка пастухов.

Со стороны может показаться, что сосуществование коренных народов с технической цивилизацией сложилось почти в идеальном виде. Однако эвенки жалуются, что в последние годы олени стали чаще болеть и гибнуть, связывая это с ухудшением качества воды и корма для оленей по вине старателей, а старатели считают, что выплачивают слишком большую компенсацию для улучшения жизни коренных народов.

Плато Мар-Кюэль уникально не только как геологическое образование или геоморфологический заповедник. Это своеобразный, сложный и практически неизученный природный комплекс, имеющий такое же значение для планеты, как гейзеры Камчатки, кладбище динозавров в Монголии или каньоны реки Колорадо. Вполне возможно, что здесь, в области древнейших осадочных пород нашей планеты, будут обнаружены еще неизвестные формы жизни начальных этапов заселения земли или гигантские подземные каньоны, пещеры и озера в известняковых толщах плато.

В идеале плато Мар-Кюэль должно бы стать национальным геологическим заказником, где любая хозяйственная деятельность должна осуществляться под контролем природоохранительных органов и региональной геологической службы. Но уже сейчас некоторые живописные ландшафты, уникальные озера, карстовые воронки и причудливые останцы заслуживают статуса памятников природы.

Аполлоны Памира

А. В. Сочивко,

Л. В. Каабак,

доктор химических наук
Москва

ЭНТОМОЛОГИ считают Памир одной из основных зон видообразования горных бабочек рода *Parnassius* и их распространения в Палеарктике. Расщеплению видов на подвиды и образованию новых видов в высокогорье способствует мощный мутаген — ультрафиолетовое излучение солнца, а также характер рельефа. Здесь хребты разделены непреодолимыми для высокогорных бабочек глубокими ущельями (на Западном Памире) или обширными плоскогорьями (на Восточном Памире).

Целью наших экспедиций в 1994 и 1995 гг. на Восточный Памир было отыскать и изучить некоторых представителей богатого подвидами и формами вида *P. staudingeri* — очень сложной в систематическом и таксономическом плане группы высокогорных аполлонов. На Памире обитает около полудюжины из 22 известных подвидов этого вида. Мы обследовали редко посещаемые районы у самой границы с Китаем и прошли по ареалу *P. s. kiritshenkoi*.

Но прежде чем рассказать о неожиданных результатах экспедиций, сделаем небольшое отступление и напомним определения вида и подвида. Под видом понимается совокупность популяций особей, способных к скрещиванию и образованию плодовитого потомства,

населяющих определенный ареал и обладающих рядом общих морфологических признаков и типов взаимодействия со средой. Подвид — совокупность географически обособленных популяций вида, в которых большинство (75%) особей отличается одним или несколькими морфологическими признаками от особей других популяций того же вида.

Бабочка *P.s.kiritshenkoi* резко выделяется среди прочих подвидов характерным слабо развитым темным рисунком на белоснежных крыльях. Причем отличие столь явно, что нашедший эту бабочку в 1908 г. известный русский энтомолог, камергер царского двора А.Н. Авинов описал ее как новый подвид лишь по единственному экземпляру. Однако точное место его находки окутывает тайна. В статье, где впервые был описан *P.s.kiritshenkoi*, указан загадочный Аличур. Но дело в том, что под этим названием известны река и кишлак, а кроме того так названы долина и окаймляющие ее с севера и юга хребты. Позднее местом сбора стали считать «Аличур у оз. Яшилкуль». Однако ни в одном из перечисленных районов обнаружить аполлонов *P.s.kiritshenkoi* никому больше не удавалось. К тому же на Восточном Памире обитает другой подвид — *P.s.jacobsoni*, а ведь, как известно, два подвида одного вида вместе летать не могут (они неизбежно сольются в

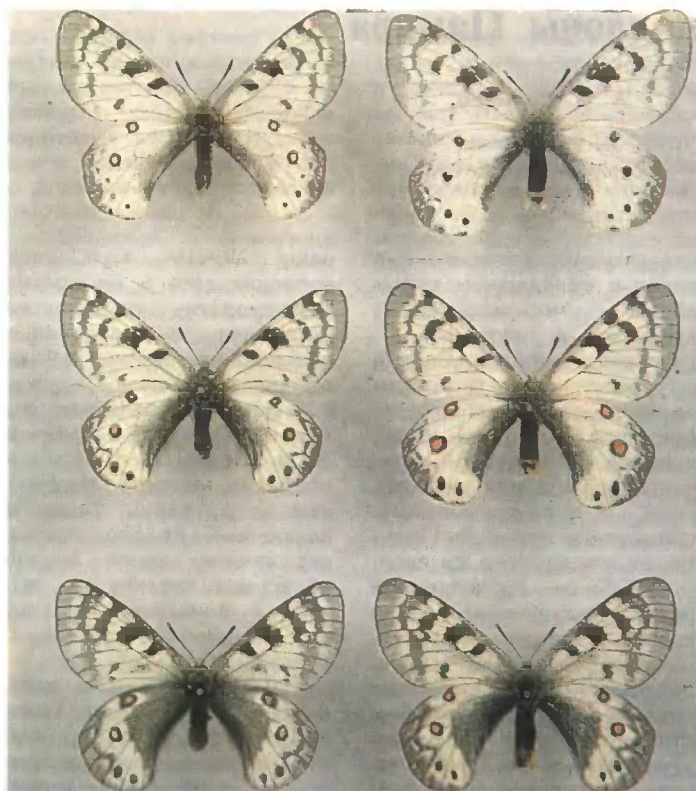
один). Кроме того, при коротком лете в памирских высокогорьях практически исключено и разделение подвидов в одном районе по времени вылета.

Немного прояснила ситуацию находка бабочки *P.s.kiritshenkoi* в 1983 г. в скальном массиве Мынхаджир у р. Аксу¹. Тогда и появилось предположение, что именно здесь Авинов обнаружил бабочку (до выхода в Аличурскую долину его экспедиция в 1908 г. работала у р.Аксу).

Выше по течению реки, к югу от Мынхаджира, находятся горы Ак-Бура. Оба эти горных массива разделяет сорокакилометровая долина. На каменных гребнях Ак-Буры 13 июля 1984 г. на высоте 4200—4300 м над ур. м. было собрано несколько экземпляров *P.s.jacobsoni*, а 19 июля на Мынхаджире началась лет бабочек *P.s.kiritshenkoi*. И тогда мы заподозрили, что *kiritshenkoi* — не подвид *P.staudingeri* (уж слишком явно он отличается от всех остальных подвидов, как, впрочем, и всех видов *Parnassius*). Но для того, чтобы *kiritshenkoi* выделить в самостоятельный вид, необходимо было, по крайней мере, найти эту бабочку и на соседнем горном массиве — Ак-Буре. К несчастью, прорвавшийся с юга индийский муссон

© Сочивко А.В., Каабак Л.В.
Аполлоны Памира.

¹ Щеткин Ю.Ю., Каабак Л.В., Щеткина Л.Г. Энтомологическое обозрение. 1987. № 1. С.87—95.

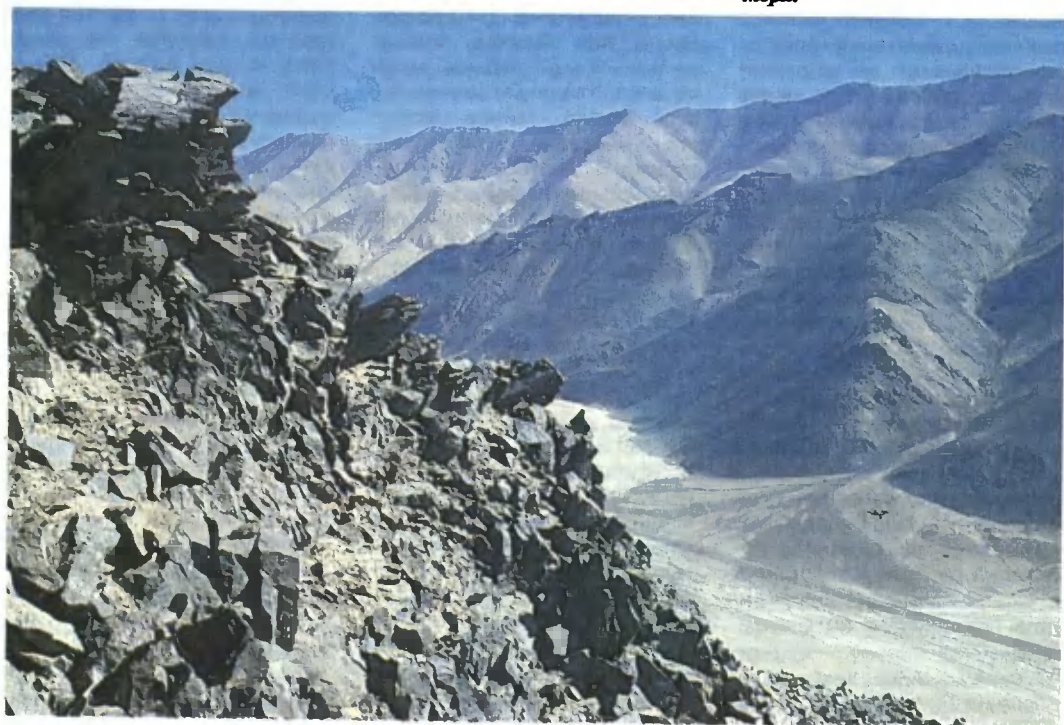


Самцы (слева) и самки бабочек рода *Parnassius*: *P. kirtshenkoi* (сверху), *P. dunkeldykus* (в середине), *P. standingeri mustagata*.

Здесь и далее фото А.В.Сочинко

Озеро Дункельдык.

Отроги Сарыкольского хребта, каменистые осыпи которого облюбовали высокогорные аполлоны. Снимок сделан на высоте 4300 м над уровнем моря.





Самка *P.s.mustagata*. Снимок сделан в отрогах Сарыкольского хребта 30 июля 1995 г.; к этому времени бабочка уже настолько обтрепалась в выщела, что ярко-красные пятна на ее задних крыльях стали бледно-желтыми.



Самка *P.kiritshenkoi* на каменистых осылях Мынхаджира.

принес необычный для Памира мощный тропический ливень, который вызвал многочисленные селевые потоки, и проезд на Ак-Буру стал невозможен. Не удалось нам побывать на Ак-Буру и в последующие годы.

В 1994 г. в западных отрогах Сарыкольского хребта (Юго-Восточный Памир), окружающих высокогорное оз. Дункельдык, на высоте около 4500 м над ур. м. мы поймали несколько бабочек еще одного подвида *P. staudingeri* — *mustagata*, описанного в 1990 г. известным немецким энтомологом К.Розе по экземплярам с китайского Памира. Имя бабочке дано по названию одной из высочайших памирских вершин — Мустагата (7546 м над ур. м.), расположенной на территории Китая. К сожалению, к тому времени, когда мы обнаружили *P.s.mustagata*, их лёт уже заканчивался и многие экземпляры оказались весьма потрепанными. Тем не менее, вернувшись в Москву и внимательно изучив их, мы обнаружили, что собранных бабочек можно разделить на две серии, которые отличаются между собой степенью развития темного рисунка на кремовых крыльях, а также некоторыми его элементами. Мы отправили Розе несколько экземпляров, часть из которых он определил как *mustagata*, остальных же — как *kiritshenkoi*. И это было поразительно — ведь все эти бабочки были собраны в одном месте.

Давайте сделаем здесь еще одно отступление и поговорим о том, как вообще различают бабочек. Во-первых, конечно, по внешнему виду (габитусу). А в случае, когда различия в окраске, размерах и формах нисходят до минимума,

сравнивают детали рисунка. Для каждого вида (подвида) графика крыльев очень стабильна; полосы, пятна, «глазки» и другие элементы рисунка могут частично, а иногда и полностью, редуцироваться, но тем не менее они располагаются в определенных местах и обладают характерными признаками.

Во-вторых, бабочек различают по строению тела и внутренних органов. Несомненно, что разнообразие видов на Земле существует именно благодаря тому, что самцы могут скрещиваться, давая жизнестойкое потомство, только с самками своего вида. Среди же подвидов такие различия минимальны, что и свидетельствует об их общей родословной.

И, наконец, в-третьих, бабочки различаются по месту обитания и связанной с характером местности манерой поведения. Что касается высокогорных бабочек, то они прекрасно приспособились к капризам природы. Главный враг для них — ветер, ведь самое страшное — оказаться оторванными от своих стаций (мест обитания). Мы не раз наблюдали, как в полете они (особенно самки) все время жмутся к земле, даже в хорошую погоду, и малейшая тень, пусть от крохотного облачка, заставляет бабочек прекратить полет. Тень — сигнал к непогоде, а кроме того, в тени быстро снижается температура воздуха, поэтому бабочки садятся на нагретые солнцем камни и, распластав крылья, стараются сохранить необходимое для полета тепло. Чем выше в горы, тем неприхотливее бабочки. Живут они подчас на кажущихся безжизненными участках, где, кроме камней, казалось бы, и нет ничего. Отогревшись

после холодной ночи, летают только при ярком свете и очень рано усаживаются на ночевку.

Во время второй экспедиции на оз.Дункельдык в 1995 г., в которой, кроме нас авторов, участвовали В.Титов и В.Лесин, мы надеялись установить таксономическое положение подвидов аполлонов *staudingeri* в системе рода *Parnassius*. В день приезда, 18 июля, мы обнаружили, что лёт бабочек *mustagata* начался раньше (видимо, в первую-вторую неделю июля), о чем свидетельствовал потрепанный, выгоревший вид некоторых экземпляров. Не вызвало сомнений, что все летающие по осыпям парнассиусы — одного «сорта» и не похожи на *kiritshenkoi*. (Напомним, что и на Памире, и на Гиссаро-Алае лёт бабочек всех подвидов *staudingeri*, за исключением *P.s.kiritshenkoi*, обычно начинается в самом начале июля.)

Но вот в последних числах июля появились другие бабочки, которые заметно выделялись и внешним видом, и поведением. Это были совершенно «свежие» самцы (у всех парнассиусов лёт самцов начинается раньше, чем самок) — светлые, крупные бабочки, широкий, иногда даже планирующий полет которых резко отличался от светлого и низкого полета *mustagata*.

Спустя несколько дней «старых» бабочек оставалось все меньше и меньше, зато увеличивалось количество «новых» — появились столь же крупные и светлые самки, и к концу первой недели августа они полностью сменили *mustagata* на большинстве стаций. Таким образом, сроки лёта «новых» бабочек совпали со сроками лёта *P.s.kiritshenkoi*

на Мынхаджире и на хр.Музкол. Но называя их «*kiritshenkoi*», мы все же обратили внимание на то, что фоновый цвет крыльев этих бабочек — не белый, как у *kiritshenkoi*, а кремовый. Собрав достаточное количество экземпляров светлых бабочек и тщательно изучив их, мы обнаружили еще несколько отличий, что позволило выделить обнаруженных бабочек в новый подвид — *P.s.dunkeldyus*, получивший название по району сбора².

От белого *kiritshenkoi* «новый подвид» отличается не только кремовым фоном крыльев, но и большим развитием темного рисунка: на переднем крыле субмаргинальная перевязь шире и длиннее, а на заднем она выражена четче, чем у аполлона *kiritshenkoi*, у которого представлена тонким пунктиром или точками, а иногда и вовсе отсутствует. Кроме того, у нового подвида крупнее, чем у *kiritshenkoi*, красные пятна на задних крыльях. Все эти отличия, как правило, ярче проявляются у самок.

От *mustagata* новый подвид отличается, напротив, более слабым развитием темного рисунка, осо-

бенно маргинальных и субмаргинальных (прикраевых и краевых) перевязей крыльев. Менее развиты у него базальное (прикорневое) затемнение и постдискальная (средняя) перевязь переднего, а также анальное (нижний край) затемнение заднего крыла. Необходимо отметить, что *dunkeldyus* несколько крупнее *mustagata*.

Что же касается отличий в строении органов, то и в этом мы обнаружили немало любопытного. Выяснилось, например, что по строению гениталий — органов копулятивного аппарата, *dunkeldyus* ближе к *kiritshenkoi*, чем к *mustagata*. Однако известно, что внутри подвидов некоторых видов аполлонов бывают вариации признаков гениталий. А такие методы исследований, как хромосомный, генный и анализ хитина для парнасисусов пока не дают надежных результатов.

Так как же можно ответить на вопрос о таксономической принадлежности этих трех бабочек? Безусловно, они не могут быть тремя подвидами *P.staudingeri*, так как *dunkeldyus* и *mustagata* летают вместе, а это может происходить только в одном из двух вариантов: либо все собранные на Дункельдыке экземпляры являются формами подвида *mustagata*,

либо *mustagata* и *dunkeldyus* относятся к двум разным видам.

Первое предположение неверно, поскольку у этих бабочек смещены по времени максимумы лёта, существуют различия в поведении, рисунке крыльев и строении гениталий. А кроме того, среди бабочек с Дункельдыка преобладают маргинальные (с максимальным развитием темного рисунка или отдельных его элементов) особи, что позволяет их выделить даже из системы вида *P.staudingeri*, ведь большинство бабочек каждого подвида этого вида мало отличаются друг от друга.

Учитывая, что по времени лёта, габитусу и признакам гениталий *dunkeldyus* ближе к *kiritshenkoi*, который, в свою очередь, отличается от всех подвидов *P.staudingeri*, логично было бы выделить его в отдельный вид — *Parnassius kiritshenkoi*, при этом *dunkeldyus* должен быть представлен как его подвид — *P.kiritshenkoi dunkeldyus*. А раз так, то и этикетка с указанием места отлова Авиновым экземпляра *kiritshenkoi* — «Аличур, оз.Яшилъкуль», где обитает *P.s.jacobsoni*, — верна, ведь бабочки двух разных видов могут летать вместе.

² Sotshivko A.V., Kaabak L.V. *Atalanta*. 1996. V. 27.

Юная галактика, окруженная газовым диском

В. Г. Сурдин,

кандидат физико-математических наук
Москва

ЧЕМ ГЛУБЖЕ копает археолог, тем более древние горизонты открываются перед ним; чем дальше смотрит астроном, тем более молодую Вселенную он видит. Хотя скорость света и велика, но все же не бесконечна; счастье астрономов в том, что свет от далеких объектов идет к нам очень долго — миллиарды лет. Желая узнать, как рождались галактики, астрономы исследуют наиболее далекие из них. Много лет эта работа приносила обескураживающие результаты: удаляясь в прошлое на 5 и даже на 10 млрд. лет, мы не обнаруживали ничего нового в облике галактик — все такие же зрелые звездные системы, как в наши дни. Но в середине 1995 г. пришла удача: группа астрономов Лейденского университета, проводя наблюдения на 3.5-метровом телескопе обсерватории Ла Силла (Чили), обнаружила далекую галактику в процессе формирования¹.

Открытие не было случайным, напротив, поиск велся весьма целенаправленно. Лейденские астрономы не первый год исследуют те области неба, в которых наблюдаются мощные радиоисточники. Как правило, с ними связаны крупные галактики. И если при беглом просмотре неба на

месте радиоисточника не удастся увидеть галактику, то тем интереснее: значит, она так далека от нас, что достать ее может только самая дальнобойная техника. С ее помощью лейденская группа за последние годы открыла половину из 60 экстремально далеких галактик. Все они лежат «у границы Вселенной», на расстоянии 10—15 млрд. световых лет от Земли. Одной из таких далеких систем оказалась галактика 1243+036 (имя галактики составлено из ее небесных координат).

Если обычно радиогалактики бывают окружены облаком горячего газа (который и служит источником радиоизлучения), то эта окружена холодным газовым диском огромного размера. Он обращается вокруг галактики и, вероятно, содержит в себе остатки того вещества, из которого сформировалась эта звездная система. Красное смещение линий в спектре галактики $z=3.6$; это означает, что расстояние до нее около 14 млрд. световых лет и, таким образом, мы наблюдаем ее в прошлом, удаленном от нас на 90% возраста Вселенной.

Именно в ту эпоху, как становится теперь понятным, формировались галактики. Они сжимались силами гравитации из разреженного вещества, и в ходе сжатия те из них, которые быстро вращались, принимали форму диска. Наша

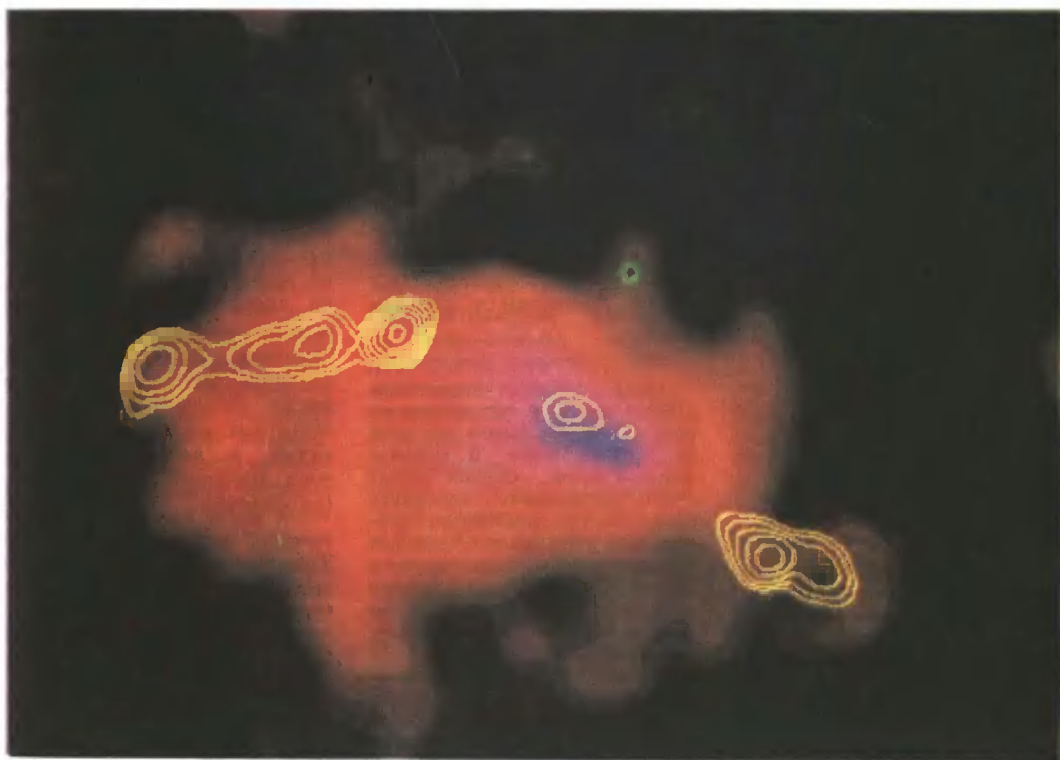
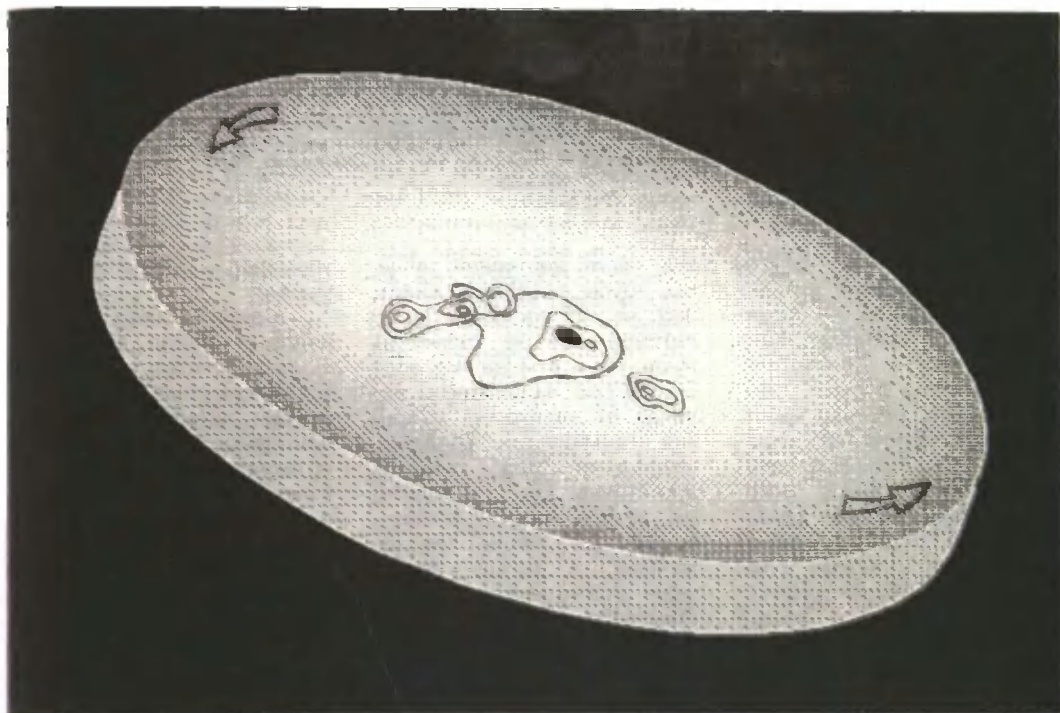
Галактика и подобные ей системы до сих пор сохраняют такую форму. Диск галактики 1243+036 вращается со скоростью 220 км/с — типичной для дисковых галактик в наше время. Однако поражает сам его размер — он впятеро превышает размер диска нашей Галактики (кстати, одной из крупнейших в современную эпоху). Это доказывает, что обнаружена именно формирующаяся звездная система, изучение которой принесет много фактов, важных для теории формирования галактик и звезд.

На верхнем рисунке — модель диска галактики 1243+036 по представлению астрономов. Этот диск, занимающий всего 20 угловых сек на небе, имеет реальную протяженность около 500 тыс. световых лет и содержит массу холодного газа, в 10 млрд. раз превышающую массу Солнца. Контурами показаны изофоты (т.е. линии равной яркости) зарегистрированного излучения. Внизу, на увеличенном изображении центральной части галактики, желтыми контурами показано радиоизлучение выброшенных из ее ядра узких струй релятивистских электронов.

ESO Press Photo 32/95

© Сурдин В.Г. Юная галактика, окруженная газовым диском.

¹ Press Release ESO, PR 13/95 (23 October 1995).



Стервятники суши и моря

Г. М. Виноградов,

кандидат биологических наук

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

ПЕРЕД вами две цитаты из наблюдений великих натуралистов — французского энтомолога Жана Анри Фабра и Аристотеля. Сначала Фабр о суше. Обочина дороги, мертвая мышь. «Первыми прибегают муравьи. Они по крошкам начинают разборку трупа. Вскоре на запах падали слетаются мухи, сюда же спешат небольшими отрядами жуки-сильфы, блестящие жуки-карапузики, кожееды, стафилины — все они усердно грызут и роют... Они будут разбирать труп кость за костью, шерстинка за шерстинкой, пока последний остаток мертвечины не пойдет на пользу живым...»¹. А теперь Аристотель о море. Мертвая или обессилевшая рыба. «...Великое множество этих существ опустятся на них и пожрут их. Их столько на морском дне, что они могут пожрать любую приманку из рыбы, оставленную на дне на любое время; рыбаки часто описывают, как они комьями повисают на наживке...»² (этих «существ» мы зовем теперь рачками-бокоплавами, или амфиподами).

Сходство описанных картин очевидно. Конечно, такой существенный источ-

ник легко доступной пищи, как трупы погибших животных, не мог не найти своих потребителей не только на суше, но и в море. Но если сухопутные падальщики, начиная от насекомых и кончая громадными грифами, медведями или гиенами, достаточно хорошо известны, то про морских стервятников³ мы знаем гораздо меньше. А между тем в море можно найти аналогов практически для любой группы стервятников суши.

Говоря о морских стервятниках, мы остановимся только на наиболее характерных из них и оставим в стороне тех животных, которые лишь иногда питаются мертвой рыбой, вроде миксин (морских родственников миног), осьминогов, креветок и других (даже голотурии однажды были отмечены у приманки)⁴. Итак, аналогов насекомых-падальщиков мы уже назвали: это рачки отряда амфипод, подотряда гаммарид, о которых

упоминал древнегреческий ученый.

Среди пяти тысяч видов гаммарид, обитающих в море, четко выделяется характернейшая жизненная форма: активно плавающие придонные рачки с плотным обтекаемым телом, цепкими конечностями и ротовым аппаратом, специализированным для обкусывания мягких тканей⁵. Большинство из них принадлежит семейству (или группе семейств, как принято считать сейчас) лизианассид (*Lysianassidae*). Эти небольшие (около 1—2 см, реже 10 см, в длину) морские рачки обитают повсюду — от мелководий до больших глубин. И если на малых глубинах у лизианассид, помимо погибших животных, есть еще и другие источники пищи, то обитатели глубин — специализированные трупоеды. Причем именно на больших глубинах эта экологическая группа животных достигла своего расцвета. На абиссальных равнинах дна олиготрофных (малокормных) районов океана, где биомасса «обычных» бентосных животных не превышает 50 мг/м², а часто бывает и того меньше⁶, такие рачки (например, *Orchomene*

© Виноградов Г.М. Стервятники суши и моря.

¹ Фабр Ж. Жизнь насекомых. М.; Л., 1936. С.210.

² Thurston M.H. Abyssal necrophagous amphipods (Crustacea: Amphipoda) in the northeast and tropical Atlantic Ocean // *Prog. Oceanog.* 1990. V.24. P.257—274.

³ Часто термин «стервятник» относят только к определенному виду орлов, на самом же деле он гораздо шире. В русском языке «стерва», «стерво» значит «труп околывшего животного, скота; падаль, мертвечина, дохлятина...» (В. Даль. Толковый словарь живого великорусского языка). Отсюда — стервоядные животные, стервятники (сам Даль в качестве примера приводит медведя).

⁴ Hessler R.R. et al. Scavenging amphipods from the floor of the Philippine Trench // *Deep-Sea Research.* 1978. V.25. № 11. P.1029—1048.

⁵ Виноградов Г.М. Вероятные пути заселения морской пелагиали амфиподами-гаммаридами: анализ жизненных форм // *Журн. общей биологии.* 1992. Т.53. № 3. С.328—339.

⁶ Sokolova M.N. Trophic structure of deep-sea macrobenthos // *Mar. Biol.* 1972. V.16. № 1. P.1—12.

gerulicorbis в Тихом океане) тысячами особей набиваются в ловушки с приманкой. Именно там обитают самые крупные их представители (*Alicella gigantea* из Атлантики — до 34 см в длину). Они — цари ультраабиссальных (свыше 6 км) глубин океанических желобов. Когда на дно Филиппинского желоба, на глубину более 9 км, опустили мертвую рыбу и телекамеру, то первые рачки *Hirondellea gigas* (ни разу не встреченные на глубинах менее 6 км) явились через 10 минут⁷. Через полчаса их было несколько десятков, а вскоре после этого их нельзя было сосчитать — сотни особей облепили рыбу, полностью скрыв ее под собой. Никто, кроме амфипод, не подошел к приманке на этой огромной глубине.

Похоже, что у наиболее специализированных гаммарид-стервятников питание падалью определяет жизненный цикл: их самки (подобно самкам комаров, которые лишь однажды напиваются кровью) должны перед размножением один раз наесться до отвала, а потом уже не подходят к трупам, рядом с которыми велика вероятность встретить приплывшего хищника.

Несомненно, важнейшую роль при обнаружении амфиподами умерших животных играет обоняние. В море оно вообще оказывается единственной возможностью найти издалека падаль: в мраке больших глубин и мутной воде мелководий зрение — плохой помощник. Вот одно из наших наблюдений: в августе 1995 г., во время оче-

редного обследования места гибели подводной лодки «Комсомолец» в Норвежском море (36-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» Института океанологии РАН), с помощью глубоководного обитаемого аппарата «Мир» были выставлены две ловушки с приманкой — одна на грунт и одна на палубу лодки в 10 м ото дна. Ловушки стояли несколько дней и принесли многочисленных амфипод. Однако в верхней ловушке оказались (причем в большом количестве — десятки и сотни экземпляров) три вида рачков, которых в нижней ловушке не было вовсе (и почти не поймано многочисленными донными тралениями, проведенными в этом месте). Виды в верхней ловушке были более обильны: например, наиболее массового рачка *Tmetonyx cicada*, вверху оказалось 1749 экземпляров, а внизу — 649, другого вида⁸ *Scopelocheirus abyssii* — в верхней ловушке было 1059 рачков, а в нижней — только два. То, что в верхнюю ловушку попало больше рачков, чем в нижнюю, объяснить можно тем, что запах приманки, поднятой на 10 м ото дна, распространился течением на значительно большее расстояние, чем от установленной на грунте, и собрал рачков со значительно большей площади. Именно великолепно плавающие рачки группы придонных стервятников послужили основой крупнейшего эволюционного прорыва гаммарид в толщу воды, позволившего им надежно освоить пелагиаль⁸.

Другие относительно мелкие массовые стервятники моря — это многие брюхоногие моллюски (гастроподы), раки-отшельники и крабы. Они не столь жестко ориентированы на питание падалью и в первую очередь — хищники, однако активно собираются на мертвечину. К этой экологической группе относится большинство гастропод, обитающих глубже сублиторали. Одни из самых активных падальщиков — гастроподы-букциниды и массовые в наших северных морях моллюски *Vuccinum undatum*, они, например, успевают достаточно быстро найти и объесть рыб, попавших в рыбацкие сети. Эту особенность брюхоногих моллюсков используют профессиональные добытчики коллекционных раковин. На Филиппинских о-вах, например, на пару недель на дно бросают сеть, в которой запутываются и погибают рыбы. Незамедлительно собираются самые разнообразные гастроподы, даже те, для которых подобное питание не слишком типично. Группировка моллюсков-трупоедов уникальна для моря — на суше их аналогов нет. Возможно, дело в том, что морским моллюскам запах пищи приносит вода, и они могут двигаться к ней в любом направлении, у сухопутных же моллюсков нет органов, способных воспринимать запах «верхним чутьем» (как это делают насекомые или млекопитающие), и к тому же они не могут покидать своих увлажненных мест обитания. Поэтому сухопутные моллюски в первую очередь ориентированы на питание доступными растительными ресурсами. Да и вообще сухопутные гастроподы (особенно крупные) не столь многочисленны, в отличие от морских. Других же сухопутных животных, которые могли бы послужить аналогами этой группе, я подо-

⁷ Hessler R.R. et al. Scavenging amphipods from the floor of the Philippine Trench // Deep-Sea Research. 1978. V.25. № 11. P.1029—1048.

⁸ Виноградов Г.М. Пути экспансии морских рачков // Природа. 1995. № 2. С.25—34.

брать не могу. Может быть, личинки насекомых?..

Донные крабы (и раки-отшельники) играют заметную роль главным образом на малых глубинах — на первых десятках и сотнях метров от поверхности моря. Конечно, встречаются они и глубже, но численность их там относительно невелика. (Исключением из этого правила для крабов, как и для многих других животных, оказываются места выхода гидротермальных источников, вокруг которых возникают глубоководные «оазисы жизни», поддерживающиеся за счет хемосинтезирующих бактерий⁹.) Обитатели богатых кормом верхних зон моря (и гидротерм) — крабы питаются падалью только при случае, в другое же время они поедают мелких беспозвоночных или процеживают детрит — совсем как пресноводные речные раки. Специализированных видов, ориентированных только на питание трупами (подобных тем, что встречаются среди амфипод), у крабов нет. Хотя и более быстрые, чем моллюски, но все же относительно тихоходные, крабы не могут быстро добраться к трупам, опустившемуся вдалеке от них, и должны довольствоваться ресурсами с меньшей площади, чем те же амфиподы. Однако то, что крабы многочисленны именно на малых глубинах, где их легко наблюдать и добывать, сделало их одними из самых известных падальщиков моря.

В тропиках многие крабы и раки-отшельники обитают



Амфипода-стерлятник Eurythenes gryllus патрулирует дно океана (по рисунку П. Виттера, 1953 г.).

на суше и ведут там близкий образ жизни (разве что с большей долей растительных объектов в спектре питания), так что вопрос об аналогиях тут не стоит.

Стерлятники покрупнее — это главным образом рыбы. Наблюдения с помощью подводных фото- и телекамер или из погружаемых аппаратов за приманками из мертвой рыбы, опущенными на большие (километр и более) глубины океана, показали, что, кроме амфипод, к приманкам собираются большие (в несколько десятков особей) стаи придонных рыб, в первую очередь макрурусов (Macrouridae) и ошибниевых (Ophidiidae)¹⁰. Приходят к приманкам и другие рыбы, а в ловушки с приманкой падалью неоднократно попа-

дались морские угри. Известно, что угорь *Simencheilus parasiticus* наряду с потреблением мелких рачков может прогрызать стенку тела крупных рыб и выедать внутренности¹¹. Неизвестно, проделывает он это с еще живыми или уже погибшими рыбами, но последнее более вероятно. Все эти рыбы также принадлежат к экологической группировке хищников-падальщиков, на этот раз придонных (бентопелагических). Наиболее многочисленны из них макрурусы, или долгохвосты. Всего известно более 300 видов макрурусов, большинство из которых — бентопелагические. Крупные макрурусы достигают 1,5 м в длину. Многие макрурусы способны подниматься со дна в пелагическую зону и питаться там, но чисто пелагических форм среди них немного. Большинство видов макрурусов обитает на глубинах 200—1500 м, несколько видов проносятся до 5—6 км, но встречаются там в больших количествах. Питаются они в первую очередь донными беспозвоночными. Понятно, что, обитая на

⁹ Сагалевич А.М., Москалев Л.И. Хемобиос на дне Тихого океана // Природа. 1991. № 5. С.33—40; Несис К.Н. Оазисы жизни на гидротермальных излияниях рождаются и умирают быстро // Природа. 1995. № 10. С.54—55.

¹⁰ Sagalevitch A., Kristof E. Allies in the Deep // National Geographic. 1991. V.179. № 2. P.31—47; Hessler R.R. et al. Scavenging amphipods from the floor of the Philippine Trench // Deep-Sea Research. 1978. V.25. № 11. P.1029—1048.

¹¹ Парин Н.В. Рыбы открытого океана. М., 1988.



Глубоководный аппарат «Мир» поднимает со дна Норвежского моря (глубина 1700 м) ловушку с пришедшими на приманку (тухлую рыбу) амфипод-стервятниками трех видов (крупные красные — *Eurythenes gryllus*, средние серые — *Tmetonux cicada* и самые мелкие — *Scopelocheirus abyssii*).

Фото лаборатории подводных аппаратов Института океанологии РАН

относительно небогатых жизнью глубинах, макрурусы должны использовать любые доступные источники пищи, и опустившиеся сверху трупы крупных рыб или морских млекопитающих собирают их с больших площадей. Неудивительно, что у макрурусов хорошо разви-

то обоняние. Хотя их обонятельные розетки невелики и содержат не более 20–30 лепестков, но поверхность последних сильно увеличена за счет расчлененных краев и многочисленных гребней на поверхности. Макрурусы славятся еще и частотой, с которой возникают у них пелагические и полупелагические виды в пределах родов, где подавляющее большинство видов — придонные. Точно такую же картину мы наблюдаем и у стервятников-амфипод, которых макрурусы вообще напоминают на своем, рыбьем, уровне развития.

Другие рыбы, подходившие к приманкам, по образу жизни сходны с макрурусами. Это такие же донно-придонные хищники батимальных и абиссальных

глубин, иногда более жестко связанные со дном (например, ошибниевые, липариды, ликоды). Интересно, что у придонных хищников-стервятников больших глубин, которым нужно обследовать значительные площади дна, заметно более развита мускулатура, и они более подвижны, чем большинство пелагических хищных рыб, обитающих на тех же глубинах. Среди последних постоянный дефицит пищи и энергии привел к возникновению множества малоподвижных «засадчиков», которых следует относить не к nektonным, как большинство живущих на небольших глубинах рыб, а к макропланктонным формам.

Стоит отметить, что подобные придонные рыбы



**Ошибнообразные рыбы-броду-
нды у приманки на глубине
5861 м на дне Филлипинского
желоба (Тихий океан).**

чаще встречаются в районе материковых склонов, под более богатыми присклоновыми водами. В олиготрофных окванических круговоротах они уступают позиции амфиподам.

Встречаются рыбы-стервятники и в глубоководных желобах. В одном трале, взятом на глубине 6770 м в желобе Кермадек, оказались сразу пять экземпляров *Notoliparis kermadecensis*, в желудках которых были обнаружены рыбья чешуя и кости. Хищничество крайне маловероятно для этих некрупных слабых рыб,

а весьма большое для бедных ультраабиссальных глубин богатство улова с большой вероятностью говорит о том, что трал прошел по месту пиршества нотолипарисов, собравшихся к чьим-то останкам. Но все-таки в ультраабиссали роль стервятников-рыб несравнимо ниже роли стервятников-амфипод.

Все эти рыбы аналогичны мелким и средним наземным хищным млекопитающим (до лис) и птицам вроде воронов и ворон, готовые тоже при случае поживиться падалью, которая, однако, не составляет основного или единственного источника их существования.

Долгое время казалось, что среди морских стервятников нет аналогов крупных

наземных падальщиков, подобных грифам, медведям или гиенам. Но в 1989 г. совместная советско-американская экспедиция на научно-исследовательском судне «Академик Мстислав Келдыш» использовала для наблюдения за приманкой (несколькими десятками килограмм тунцового филе, опущенными на глубину одного километра недалеко от Бермудских о-вов) глубоководные обитаемые аппараты «Мир». Аппарат стоял на дне рядом с приманкой, и пораженные исследователи наблюдали, как из тьмы возникали огромные — до четырех метров в длину — примитивные шестигаберные акулы и учиняли настоящие драки из-за кусков тунца. Кроме них у приманки появились крупные красные крабы, кальмар и большой черный угорь. Как говорил потом один из наблюдателей, фотограф «National Geographic» Э.Кристоф, у него сам собой возник вопрос: что же еще придет сейчас оттуда? Неудивительно, что такие гиганты глубин никогда не ловились маленькими донными ловушками и были обнаружены только при наблюдении. (А вот акулы поменьше в ловушки попадались. Известный ихтиолог Н.В.Парин рассказывал, что в 1987 г. во время 18-го рейса научно-исследовательского судна «Профессор Штокман» в Тихий океан на подводном хребте Наска на глубине 800 м в донную ловушку попала полутораметровая акула *Somniosus rostratus*. Ловушка была много меньше приплывшей рыбины, и, чтобы добраться до вожаемой приманки, ей пришлось свернуться в кольцо.)

В том, что нишу гигантских падальщиков заняли именно самые примитив-

ные акулы, ближайшие родственники которых известны из отложений юрского периода, возможно, есть глубокий смысл. В морях всегда обитали гигантские животные — будь то плезиозавры или ихтиозавры в юрский период или большие киты в наши дни. И, когда они погибали, трупы их падали на дно. О том, что количества этих тел (во всяком случае до тех пор, пока промысел не свел число гигантов к опасному минимуму) хватало для существования специфической фауны питающихся ими донных животных, говорит существование особых бентосных биоценозов на китовых костях, когда развивающиеся на них бактерии служат кормом многочисленным двустворчатым моллюскам (не встреченным на «нормальном» дне) и другим

беспозвоночным¹². Очень может быть, что именно на таких ресурсах и сформировалась экологическая группа больших стервятников, и, поскольку подобная ниша возникла еще во времена динозавров, ее и заняли такие древние животные, как шестижаберные акулы. Менялся таксономический состав поступающей сверху пищи, но сами условия существования практически не менялись, и в наши дни шестижаберные акулы по-прежнему занимают эту экологическую нишу.

И только отсутствие у современных натуралистов традиции описывать свои наблюдения в стиле старой

школы мешает нам подобрать достойную пару этой последней цитате: «За первым грифом слетаются все прочие, находящиеся поблизости... Со всех сторон падают сверху быстро увеличивающиеся тела, хотя несколькими минутами раньше не заметно было даже в виде точки на небе этих огромных птиц... Едва успев спуститься на землю, грифы, вытянув горизонтально шею и волока по земле крылья, устремляются на падаль с беспримерной жадностью. Мелюзга, собравшаяся на труп, почтительно отступает перед ними... Сверху то и дело низвергаются новые голодные грифы... и снова завязывается борьба»¹³.

¹² Smith C. et al. Vent fauna on whale remains // *Nature*. 1989. V.341. № 6237. P.27—28; Smith C. Whale falls: chemosynthesis on the deep seafloor // *Oceanus*. 1992. V.35. № 3. P.74—78.

¹³ Брэм А.Э. Жизнь животных. Т.2. Птицы. СПб., 1909. С.745.

НОВОСТИ НАУКИ

Охрана природы

Опять убивают горилл

В августе 1995 г. сотрудники Национального парка Вирунга (восточная часть Заира) обнаружили тела двух только что убитых горных горилл, хотя охота на них строжайшим образом запрещена даже вне заповедных территорий. Подобных случаев не отмечалось в течение 10 лет, и, казалось, с браконьерством покончено. И вот за непол-

ный год от рук людей погибло семь горных горилл, что представляет собой очень значительную убыль популяции, не превышающей 600 особей.

Тяжелой потерей явилось убийство главы большой стаи — самца с седой шерстью на спине, тоже жившего на склонах хребта Вирунга; четыре горные гориллы погибли в соседней Уганде. Цели браконьеров не совсем ясны. Если раньше «сувениры» из частей тела гориллы можно было продавать по высокой цене,

то теперь такая торговля считается преступлением во всех африканских странах. Между тем возможность наблюдения за жизнью горилл привлекает множество туристов и приносит прибыль местным жителям. К сожалению, участвовавшие встречи горилл с мирно настроенными людьми «притупили бдительность» обезьян, что облегчает браконьерский промысел.

New Scientist. 1995. V.147. № 1992. P.11 (Великобритания).

Первые три миллиарда лет жизни: от прокариот к эвкариотам

В. Н. Сергеев, Э. Х. Нолл, Г. А. Заварзин



Владимир Николаевич Сергеев, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института РАН. Область научных интересов — остатки микроорганизмов докембрия и нижнего кембрия и возможности их биостратиграфического использования.



Эндрю Херберт Нолл, профессор Гарвардского университета, действительный член Американской академии наук. Автор более 200 работ по остаткам древнейших микроорганизмов, изотопии пород и стратиграфии докембрийских отложений.



Георгий Александрович Заварзин, доктор биологических наук, профессор, заведующий отделом микробных сообществ Института микробиологии РАН. Область научных интересов — глобальная микробиология.

В СОЛНЕЧНОЙ системе Земля — планета биологическая, отличающаяся сложной и разнообразной жизнью, которая сформировалась за долгую историю. Как свидетельствует палеонтология, эволюция, начавшаяся по меньшей мере 3.5 млрд. лет назад, шла с меняющейся скоростью, когда

относительно короткие периоды драматических перемен разделялись длинными этапами застоя.

В привычной палеонтологической летописи последних 545 млн. лет изменения были особенно быстрыми. В этом возрастном интервале на границах между пермью и триасом, между мелом и палеогеном вымерло множество растений, животных, микрорепланктона, а выжившие получили возможность развиваться по новым

путям. Во времена так называемого «кембрийского взрыва» большинство групп беспозвоночных увеличило свое разнообразие в океане, а многие группы и виды научились строить минерализованные скелеты. Глубоко и бесповоротно изменились экосистемы и биогеохимические циклы.

Естественно, что эти эволюционные события привлекают внимание биологов и палеонтологов; однако они охватывают только последние 15% длинной истории жизни. Более столетия назад Чарльз Дарвин писал в «Происхождении видов»: «На вопрос, почему мы не находим богатых ископаемых, принадлежащих <...> периодом докембрийской системы, я не могу дать удовлетворительного ответа <...>. Явление остается необъясненным в настоящее время и может быть использовано как аргумент против приводимых здесь взглядов».

Только за последние 40 лет накопились новые данные в биологии, геологии, палеонтологии, позволившие существенно дополнить докембрийскую летопись Земли. Геологи большее внимание стали уделять древнейшим осадочным породам Земли; а появление изотопных методов датировки позволило реально оценить временные масштабы докембрийской истории. Глубокое понимание отличий природы растений и животных от бактерий и одноклеточных эвкариот привело к выводу, что ископаемое в докембрийских породах, вероятнее всего, должны быть представлены микроорганизмами. Поэтому палеонтологи, прекратили поиски все более древних трилобитов и с успехом стали искать остатки водорослей и бактерий. Во многих докембрийских сланцах были обнаружены сплюснутые остатки микроорганизмов, в кремнях — тоже микроорганизмы, но сохранившиеся в трехмерном объеме, а в позднедокембрийских породах — многоклеточные водоросли и простые бесскелетные животные.

Ряд работ, включая публикации в «Природе», посвящены описанию этой летописи, и мы рекомендуем обра-

титься к ним заинтересовавшихся читателей¹.

Задача нашей статьи — вкратце обсудить основные периоды биологической эволюции на докембрийской Земле и показать, как в течение первых трех миллиардов лет формировалась современная биосфера, а примерно 1 млрд. лет назад возникло основное разнообразие эвкариотных организмов. Наш тезис состоит в том, что палеонтологическая летопись может быть дополнена сравнительным экологическим подходом, взятым из микробиологии, а также данными молекулярной биологии, что позволяет получить более ясную картину событий далекого прошлого.

Следует добавить, что в настоящее время существуют международная и российская стратиграфические шкалы периодизации основных событий в докембрии (см. рис.1). В нашей статье мы постарались не обидеть ни одну из них.

ПОДГОТОВКА ЭВОЛЮЦИИ ЭВКАРИОТ

Согласно молекулярной филогении, которая изучает эволюционные отношения между живыми организмами на основании нуклеотидных последовательностей, первые организмы были прокариотами — археями и бактериями. Ранняя жизнь базировалась на окислительно-восстановительных реакциях веществ, поступающих из глубины Земли в гидротермальных источниках. Восстановителем служил H_2 , может быть CO , окислителем — CO_2 , S_0 ; продуктами реакции соответственно были — CH_4 и H_2S . Такие экосистемы, которые используют поступающие из недр Земли неорганические вещества, не имели решающей роли в определении лица планеты: в геологической летописи нет следов эпох, характеризующихся сероводородной или метановой атмосферой.

Со временем, однако, некоторые микроорганизмы научились потреблять

¹ Крылов И.Н., Заварзин Г.А. Цианобактериальные сообщества — колодец в прошлое // Природа. 1983. № 3. С.59—59.

А			Б			
эон	эра	период	акротема	эонотема	эратема	система
основание кембрия				основание кембрия		
протерозой	неопротерозой	неопротерозой-III	протерозой	верхний рифей		венд
		650			650±20	V2
		криогений			верхний (каратавий)	V1
		850			1000±50	
	мезопротерозой	тоний			средний (юрматиний)	
		1000			1350±20	
		стеней			нижний (бурзяний)	
		1200				
	палеопротерозой	эктазий		нижний (карелий)		
		1400			верхний карелий	
		калимий			1900±50	
		1600			нижний карелий	
2500		статерий	2500±50	верхний		
		1800			3150±50	
		орозирий				
		2050				
архей		рясий	архей	нижний		
		2300				
		сидерий				

Рис.1. Соотношение международной (А) и российской стратиграфической шкал (Б) периодизации основных событий в докембрии. Даты в млн. лет. Взято из работы: М.А.Семихатов «Новейшие шкалы общего расчленения докембрия: сравнение». (Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1993. Т.1. № 1. С.6–20).

продукты обмена других организмов. Так сформировались микробные сообщества с замкнутым круговоротом веществ, для распространения которых важным фактором стало развитие фотоавтотрофии. Это был принципиальный этап в создании биосферы и ее эволюции в целом.

На современной Земле есть некоторые местообитания, где нет растений и животных, но процветают бактерии. Проблема состоит в том, чтобы оценить насколько такие области могут служить моделью древнейшей биосферы. Особое внимание привлекают три местообитания: глубоководные гидротермы, термальные источники и гиперсоленые лагуны. Все они интенсивно изучаются в поисках аналогий с прошлым, а развивающиеся в них сообщества рассматриваются как реликтовые, которые выжили несмотря на изменения окружающей среды и появление высших организмов.

Пожалуй, лучшим аналогом ранних экосистем Земли можно считать

глубоководные океанические выходы термальных вод, если, конечно, исключить круговорот, приносящий воды современного океана с кислородом и частицами органического вещества. В термальных выходах обитают гипертермофильные микробы, среди которых имеются формы, принадлежащие по молекулярным признакам к древнейшим филогенетическим ветвям древа жизни. Однако мы вправе задать вопрос: могли ли они создать функционирующую биосферу, пригодную для дальнейшего развития жизни?

В теплых термальных источниках, где доминирующий газ — углекислота, развиваются богатые микробные сообщества, которые можно рассматривать как «природные эксперименты», моделирующие взаимодействие микробов с дегазирующей Землей. Здесь процветают сообщества прокариот с цианобактериями как первичными продуцентами и полной цепью термофильных организмов, обеспечивающих круговорот вещества в системе: автотрофные термофильные организмы ассимилируют CO_2 и начинают круговорот углерода в экосистеме; с ними сопряжен обмен других организмов, разлагающих органическое вещество². Все это говорит о том, что термофильное микробное сообщество способно образовать корень древа биоразнообразия и создать плацдарм жизни, преобразившей геосферу в биосферу. В архейских и раннепротерозойских осадочных и вулканогенно-осадочных толщах были обнаружены гидротермальные источники, но до сих пор никто не пытался найти там остатки термофильных сообществ или следов их метаболической активности.

С другой стороны, палеонтологи установили, что появление на Земле уже 3,5 млрд. лет назад фотосинтеза дало возможность жизни колонизовать участки поверхности, далеко удаленные от гидротермальных выходов. В Австралии и Южной Африке породы этого возраста содержат микрофоссилии, строматолиты (органогенно-осадочные

структуры, образованные микробными сообществами) и геохимические свидетельства присутствия сложных микробных сообществ с автотрофными, и скорее всего фотоавтотрофными, первичными продуцентами. Сегодня аналогичные сообщества можно наблюдать в соленых лагунах, где развиваются галофильные цианобактериальные маты. Эти строго структурированные сообщества отличаются широким разнообразием микроорганизмов; продуцентами опять-таки служат цианобактерии, создающие в мате плотный покров хлорофилла, который перехватывает фотосинтетически активную радиацию.

У нас нет никаких оснований предполагать, что бактериальные обитатели реликтовых сообществ сколько-нибудь серьезно изменились со времени своего возникновения. Согласно геологическим и биологическим данным, ранние экосистемы были главным образом прокариотными и анаэробными. Тем не менее геологическая летопись жизни в течение примерно первого миллиарда лет пока еще недостаточно документирована, чтобы осветить начало эволюции, когда анаэробные прокариоты приступили к созданию современных экосистем на Земле.

РАЗНООБРАЗИЕ ОРГАНИЗМОВ В ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЕ

Если жизнь впервые появилась в условиях низкого содержания кислорода, то когда же древнейшая атмосфера и океаны стали пополняться кислородом и какие последствия это имело для экосистем? Ответ на эти вопросы дают палеонтологическая и геологическая летописи палеопротерозоя (карелия), изученного гораздо лучше, чем архея.

Позднеархейские и ранне-палеопротерозойские кремни содержат микрофоссилии, которые, возможно, являются остатками цианобактерий. Однако в чуть более молодых породах (около 2,2—2 млрд. лет назад) обнаружены уже бесспорные цианобактерии. Примечательно, что эти первые ископаемые цианобактерии почти неотличимы от современных видов, живущих в

² Кальдерные микроорганизмы. М., 1989.

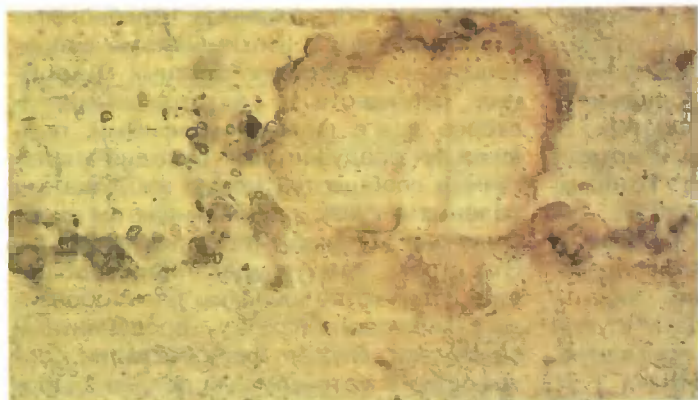


Рис.2. Кокковидная цианобактерия *Eoentophysalis belcherensis* Нотмана из отложений мезопротерозойской котуйканской свиты Анабарского поднятия Сибири. Возраст ~1.4 млрд. лет.

Здесь и далее фото авторов

50 мкм



Рис.3. Эллипсоидная микрофоссилия рода *Archaeoellipsoides* Нородзюки и Дональдсона — фоссильзованная акинета (репродуктивная спора) ностокковых цианобактерий из отложений мезопротерозойской котуйканской свиты Анабарского поднятия Сибири. Возраст ~1.4 млрд. лет.

50 мкм

сходных физических условиях. Например, *Eoentophysalis belcherensis* (рис.2), известная из многих палео- и мезопротерозойских отложений приливной зоны (tidal flats), очень похожа на современную цианобактерию *Entophysalis major*. В тех же древнейших отложениях приливной зоны находят микрофоссилии, относимые к роду *Archaeoellipsoides* (рис.3), которые представляют собой сохранившиеся репродуктивные споры (акинеты) цианобактерий, весьма сходных с акинетами современного рода *Anabaena*. Открытие акинет в палеопротерозойских отложениях интересно в свете современных данных молекулярной биологии. Согласно молекулярной фи-

логении, устанавливаемой по последовательности нуклеотидов в 16S рибосомальных РНК (рРНК), образующие акинеты цианобактерии составляют самую верхнюю ветвь эволюционного древа цианобактерий. Таким образом, обнаруженные акинеты указывают, что основное разнообразие цианобактерий было достигнуто ко времени, когда мы впервые находим их бесспорные ископаемые остатки. Широкое распространение цианобактериальных сообществ в палеопротерозое подтверждают строматолиты, которых становится значительно больше на шельфе континентальных платформ 2.5—2 млрд. лет назад.

Экспансия цианобактерий оказалась решающей в развитии атмосферы

и гидросферы Земли потому, что только эти организмы способны использовать воду для фотосинтеза. В цианобактериальном фотосинтезе молекулярный кислород образуется как побочный продукт, и его накопление в атмосфере и океанах преобразовало биосферу. Конечно, простая продукция кислорода еще не могла привести к атмосферной революции, поскольку большая часть образованного кислорода могла уйти в ходе биологических и химических процессов окисления. По имеющимся данным, Земля в палеопротерозое претерпела крупные тектонические изменения: образовались большие стабильные платформы, в мелководных шельфовых областях которых стало возможно долгосрочное захоронение органического вещества. Высокая скорость погребения органического вещества в палеопротерозое (о чем говорит аномально высокое изотопное соотношение углерода в органическом веществе и карбонатах), видимо, совпала с уменьшившимся потоком восстановленных вулканических газов. В результате этих событий 2,2—2 млрд. лет назад уровень атмосферного кислорода повысился с 1% до 10—15% от современного уровня. Такому резкому изменению в составе атмосферы соответствуют и изменения в древних корях выветривания с распространением минералов, образующихся при окислении кислородом³.

Переход к кислородной атмосфере совпадает с почти полным исчезновением железистых кварцитов с магнетитом и появлением красноцветных пород. Это один из наиболее грубых, но наглядных геологических индикаторов наличия свободного кислорода и окислительных условий. Одновременно происходит перестройка и в цикле серы: в палеопротерозое сульфатредукция становится доминирующей, о чем свидетельствует изменение изотопного состава основных соединений серы в отложениях этого возраста. Поскольку циклы серы и железа

несовместимы из-за образования сульфидов железа, то окисление сульфида азробными бактериями в сульфаты моря стало возможным только около 2 млрд. лет назад после прекращения отложения железистых кварцитов.

Итак, в палеопротерозое биосфера Земли значительно изменилась: возникли новые, богатые кислородом экологические ниши на суше и в мелководных прибрежных участках, в то время как бескислородные экосистемы продолжали процветать в глубоких анаэробных частях бассейнов. Два миллиарда лет назад сформировалось полное функциональное разнообразие бактерий, необходимое для поддержания биогеохимических циклов на Земле в форме, близкой к современной. Начался следующий этап развития жизни.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭВКАРИОТНЫХ ОРГАНИЗМОВ

Данные о последовательности нуклеотидов в 16S рРНК позволяют предположить, что эвкариоты как одна из трех главных ветвей эволюционного древа жизни имеют историю почти столь же длительную, как прокариоты. Однако древнейшие эвкариоты могли быть простыми анаэробными гетеротрофами, которые не имели значения в ранних экосистемах. Эвкариоты смогли достичь своего эволюционного развития только в результате эндосимбиоза с бактериями. Одна из групп ранних эвкариот включила протеобактерию, способную к азробному дыханию. Со временем эти «гости» стали биологически интегрированными с их хозяевами, создав композитную форму жизни. Потомки этих бактерий до сих пор существуют как митохондрии в клетках всех современных организмов, в том числе и наших с вами. Другие ранние эвкариоты дополнительно захватили цианобактерии, которые сходным путем превратились в хлоропласты и дали эвкариотным водорослям возможность фотосинтезировать.

Поскольку необходимым предварительным условием развития азробных бактерий было распространение богатых кислородом экосистем, можно полагать,

³ Schopf J.W. (Editor) // Princeton University Press, Princeton. New Jersey, 1983.

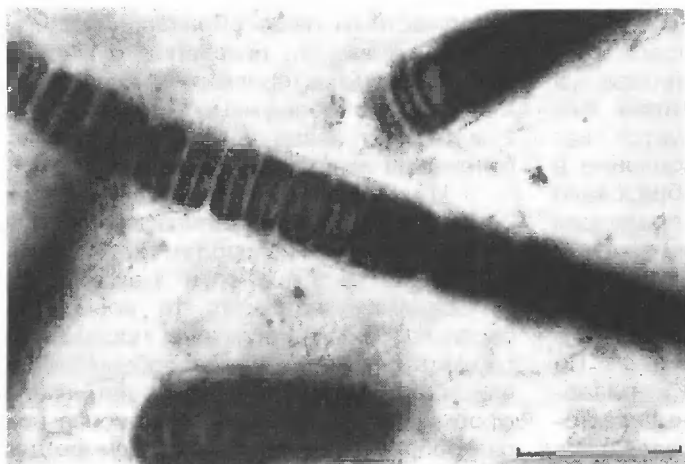


Рис.4. Одна из древнейших находок нитчатых красных бактериальных водорослей из позднемезопротерозойской или раннепротерозойской формации хантинг Канады. Возраст ~1.2 млрд. лет. Масштаб 50 мкм.

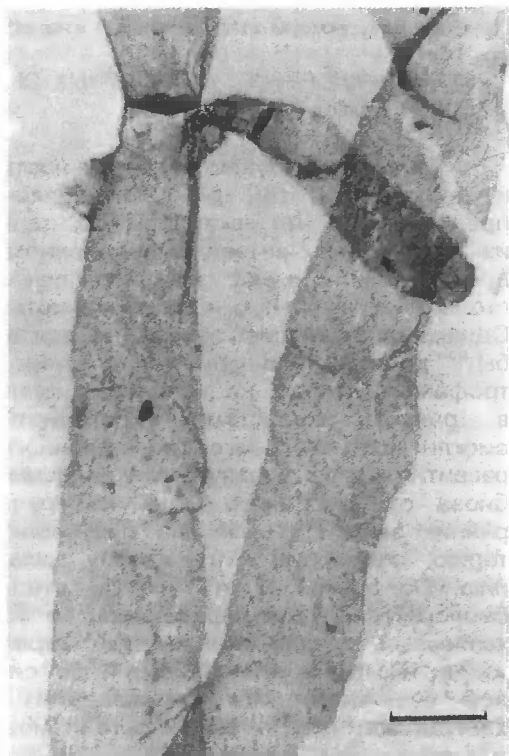


Рис.5. Остатки зеленых сифонокладовых водорослей *Proterocladus major* Butterfield из неопротерозойской формации сванберга Шпицбергена. Возраст 700–750 млн. лет. Масштаб 25 мкм.

что искать ископаемых эвкариот нужно в породах более поздних, чем геохимические индикаторы, свидетельствующие о наличии кислородной атмосферы. Однако на практике идентификация древнейших остатков эвкариотных микроорганизмов в палеопротерозойских отложениях сталкивается с множеством трудностей. Дело в том, что низшие морфологически простые одноклеточные эвкариоты внешне почти неотличимы от прокариот и распознаются в основном по присутствию митохондрий и хлоропластов. К сожалению, эти органеллы не сохраняются в ископаемом состоянии, поскольку после гибели клетки ее протопласт сжимается до крошечных размеров, который у фоссилизированных микрофоссилий часто присутствует как темное небольшое шаровидное включение. (Интересно, что на начальном этапе изучения докембрийских микрофоссилий большинство подобных включений принималось за клеточные ядра, а сами микроорганизмы — за эвкариоты.)

Важным критерием, позволяющим различить про- и эвкариоты, служит размер, поскольку максимальный диаметр прокариотных клеток составляет около 60 мкм. Однако в ископаемом состоянии за остатки крупных клеток можно ошибочно принять слизистые оболочки, окружающие колонии некоторых цианобактерий, которые достигают в диаметре иногда нескольких сантиметров. К несомненно эвкариотным микроорганизмам относятся микрофос-

илии сложной морфологии, прежде сего формы с шипами и выростами, ехарактерными для прокариот. Но статки подобных микроорганизмов встречаются только вблизи границы лезо- и неопротерозоя, видимо, значительно позже появления первых эвкариот. Древнейшие микрофоссилии, с предельной долей вероятности относимые к эвкариотам, находят в породах возрастом 1.7—1.9 млрд. лет. Они представляют собой большие, до нескольких сантиметров в диаметре, плющенные тела сферических организмов, возможно, эвкариотного происхождения. И хотя эти отпечатки могут казаться остатками не отдельных крупных клеток, а пустыми оболочками, кружавшими колонии прокариот, налчие эвкариот в сообществах палеопротерозоя подтверждается присутствием в итумах этого возраста молекул биомаркеров (стеранов), характерных только для некоторых представителей ядерных организмов⁴.

Итак, хотя взятые отдельно доказательства слабы и допускают альтернативные интерпретации, в сумме они видетельствуют, что эвкариоты, по-видимому, были широко распространены .7—1.9 млрд. лет назад. Биологическая ринадлежность этих древнейших ядерных организмов в целом неопределенна виду простой морфологии, не связывающей эти ископаемые с конкретными ыне живущими группами протист. Иполне вероятно, что некоторые из них югли принадлежать к вымершим группам ранних эвкариот.

НЕОПРОТЕРОЗОЙСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Вслед за важными биологическими и геологическими изменениями в палеопротерозое наступила длительная, сравнительно спокойная эра мезопротерозоя (1600—1000 млн. лет). ассоциации микрофоссилий из окремненных карбонатов приливно-отливной оны, где преобладают цианобактерии, ходны как с палеопротерозойскими

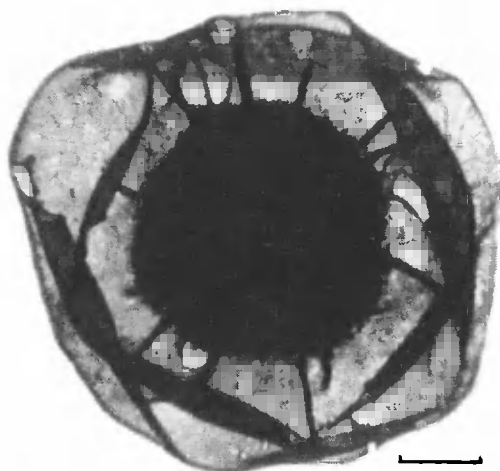


Рис. 6. Акантаморфные акритархи *Trachyhystrichosphaera polaris* Butterfield — остатки фитопланктонных микроорганизмов, возможно репродуктивные цисты зеленых празиофитовых водорослей, из неопротерозойской формации сванбергфиллет Шницбергера. Возраст 700—750 млн. лет. Масштаб 25 мкм.

комплексами, так и с сообществами современных микроорганизмов⁵. В сланцах этого возраста обнаружены многочисленные проблематичные микрофоссилии, — возможно, остатки эвкариотного фитопланктона. Помимо них на трех континентах найдены спиральные макроскопические отпечатки, которые почти наверняка принадлежат эвкариотам. Однако более разнообразные и сложно построенные остатки эвкариот в мезопротерозойских отложениях отсутствуют. По малопонятным причинам Земля почти не менялась в течение длительного времени, и смена биологических форм и увеличение их разнообразия были ограничены. Но в кажущихся простыми и статичными клетках эвкариот происходили молекулярные и ультраструктурные изменения, которые привели к эволюционному взрыву в конце эры.

Принципиальным биологическим событием в течение мезопротерозойского перехода (средний—поздний

Schopf J.W., Klein C. (Editors) // Cambridge University Press. Cambridge, 1992.

⁵ Sergeev V.N., Knoll, A.H., Grotzinger J.P. // Paleontological Society Memoir. 1995. V.39. P.37.



50 мкм

Рис. 7. Акаптоморфные акритархи из неопротерозойской формации доушаньто Китая. Возраст ~590 млн. лет.

рифей) стало бурное увеличение разнообразия «высших» эвкариот и появление новых форм. Это изменение не было мгновенным: оно началось в позднем мезопротерозое и продолжалось, по-видимому, почти всю неопротерозойскую эру. Причины этого взрыва пока неясны, хотя, возможно, он связан с эволюцией цитоскелета и возникновением классических (митотических) форм полового размножения. В результате в течение короткого времени возникли почти все основные группы водорослей и простейших, а также предки животных, грибов, растений, что резко изменило природу и сложность биотических сообществ.

Древнейшие остатки эвкариотных организмов, которые, безусловно, относятся к ныне существующим основным группам, представлены красными бангиевыми водорослями (рис. 4), сохранившимися в окремненных карбонатах приливной зоны из позднемезопротерозойской или раннеопротерозойской формации Хантинг (Северная Америка).

Далее в стратиграфической последовательности следуют находки зеленых (рис. 5) и, возможно, хромофитовых водорослей. Тогда же морфологически сложные микрофоссилии, обычно обозначаемые как акритархи (рис. 6,7), начали быстро эволюционировать. Точное таксономическое положение акритарх неясно, потому что морфологически они весьма близки к разным линиям протист. Возможно, некоторые из них ныне вымерли, а другие вполне могут оказаться сохранившимися репродуктивными цистами празиофитных зеленых водорослей. В породах неопротерозоя появляются остатки и других протист, например — похожие на вазы микрофоссилии рода *Melanocyllium* (рис. 8), а также одноклеточные организмы *Eosaccharomyces*, напоминающие мицелий некоторых низших грибов⁶. Более убедительные находки грибов относятся к отложениям верхнего неопротерозоя — венда, где они встречаются совместно с обильными остатками многоклеточных животных и бессосудистых растений.

Палеонтологические свидетельства о взрыве разнообразия эвкариот под-

⁶ Янкаускас Т.В. и др. Микрофоссилии докембрия СССР. Л., 1989.



Рис.8. Остатки протист ва-
зовидной формы *Melanoscyllium*
Bloeser из неопротерозой-
ской серии академикхербри
Шпицбергена. Возраст 700—
800 млн. лет.

25 мкм

держиваются независимыми данными палеобиохимии и молекулярной биологии. Многочисленные находки биомаркеров говорят о возможном присутствии значительного количества зеленых, красных и хромофитовых водорослей в неопротерозойских экосистемах. Новейшие данные по молекулярной филогении ныне существующих протист также указывают, что появление разнообразных высших эвкариот произошло относительно поздно в истории группы⁷. Этот большой взрыв («big bang») эвкариотной эволюции дал предков трех ветвей многоклеточных организмов, доминирующих в современной биосфере: животных, растений, грибов (рис.9). Таким образом, данные палеонтологии, палеобиохимии и молекулярной биологии согласуются между собой, предполагая, что основное веерообразное развитие эвкариот началось около 1 млрд. лет назад, в неопротерозое (рис.10).

Палеонтологическая летопись до-

кументирует появление эвкариот с определенной морфологией и сохраняемыми органическими частями. Однако многие ныне живущие мелкие и простые эвкариотные клетки почти не сохраняются в осадках. Некоторые из них, например инфузории, образуют определенные биомаркеры, наличие которых в породах может говорить об их присутствии и без структурно сохранившихся остатков. Но для многих простых эвкариот сведения о биохимическом составе их компонентов недостаточны, и поэтому в биогеохимических исследованиях конкретная цель поиска остается неясной. Очевидно, видимая экспансия эвкариот в неопротерозое составляла только вершину айсберга, и более широкая экспансия протист не отмечена в геологической летописи.

Косвенные данные дают представление о возрастающем значении эвкариот в экосистемах, но и они не увеличивают наши знания о таксономическом разнообразии древних эвкариот. Например, образующие акинеты

⁷ Knoll A.H. // Science. 1992. V.256. P.622—627.

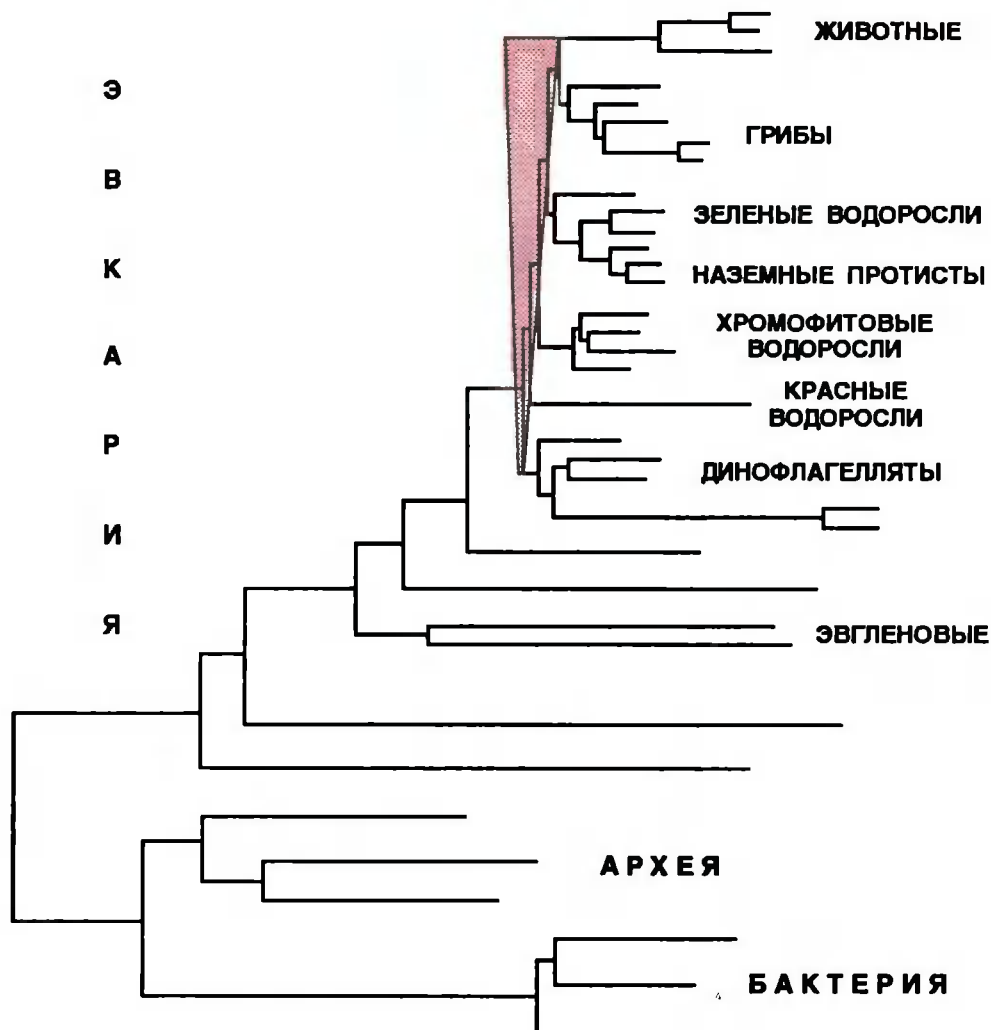


Рис. 9. Филогенетическое древо эукариотных организмов, основанное на последовательности нуклеотидов в 16S рРНК. Цветом показано место главного увеличения разнообразия эукариотных организмов. По: Sogin M.L., Gunderson J.H., Elwood H.J., Alonso R.A., Peattie D.A. Phylogenetic meaning of the kingdom concept: an unusual ribosomal RNA from *Guardia lamblia* // *Science*. V.243. P.75—77.

цианобактерии, которые обычны в отложениях мезопротерозоя, вероятно, жили в береговых водоемах с пониженной соленостью. Но их находки в отложениях неопротерозоя редки, не-

смотря на то, что эта группа широко распространена в современных водоемах. (*Anabaena* и некоторые другие формирующие споры водоросли хорошо знакомы, видимо, почти всем читателям, поскольку они — один из основных виновников «цветения воды».) Однако сейчас в прибрежных мелководных условиях, в которых обнаружено большинство остатков акинет мезопротерозоя, доминируют эукариотные водоросли. Значит, редкость находок ископаемых акинет в отложениях приливных отмелей возрастом моложе 1000 млн. лет косвенно

указывает на распространение более конкурентоспособных эвкариот, вытеснивших отсюда цианобактерий⁸. Сходным образом, наблюдаемое сокращение строматолитов в разрезах неопротерозоя, вероятно, также говорит об экспансии морских эвкариотных водорослей и, позднее, животных.

В целом прямые и косвенные ископаемые свидетельства говорят о том, что хотя эвкариоты как группа возникли рано в истории Земли, распространились и стали доминирующими компонентами экосистем только около границы мезопротерозоя и неопротерозоя. Этим они создали предпосылку для следующей революции морских животных в начале фанерозоя и к переходу в конечном итоге к биосфере современного типа.

*

Наши представления о древнейшей жизни, основанные на ископаемой летописи, безусловно неполны. Только немногие фрагменты ее просматриваются с некоторой ясностью, но даже и достаточно хорошо сохранившиеся ископаемые отражают состояние жизни главным образом в ограниченных береговых областях, где и сегодня господствуют цианобактериальные маты; глубоководные моря и поверхность суши пока остаются белым пятном. То, что нам открывается, это не полный ландшафт докембрия, а скорее колодец в прошлое, и картину ранней палеонтологической летописи можно сравнить с наблюдением за освещенной верандой. Мы видим, как проходит жизнь на веранде, но можем только догадываться о том, что происходит внутри дома и на улице. К счастью, входящие и выходящие люди могут сказать наблюдателю очень многое относительно окружающей жизни.

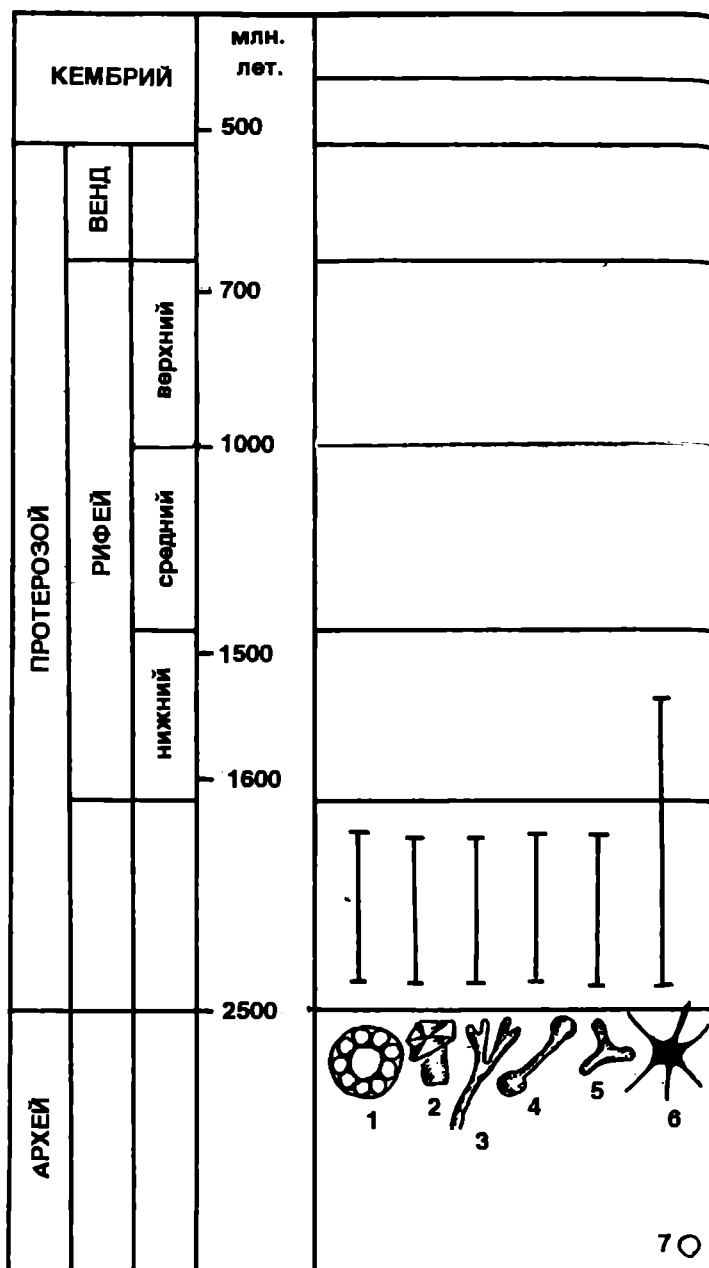
Далее, мы можем расположить наши наблюдения в соответствии с общей схемой филогенетической ин-

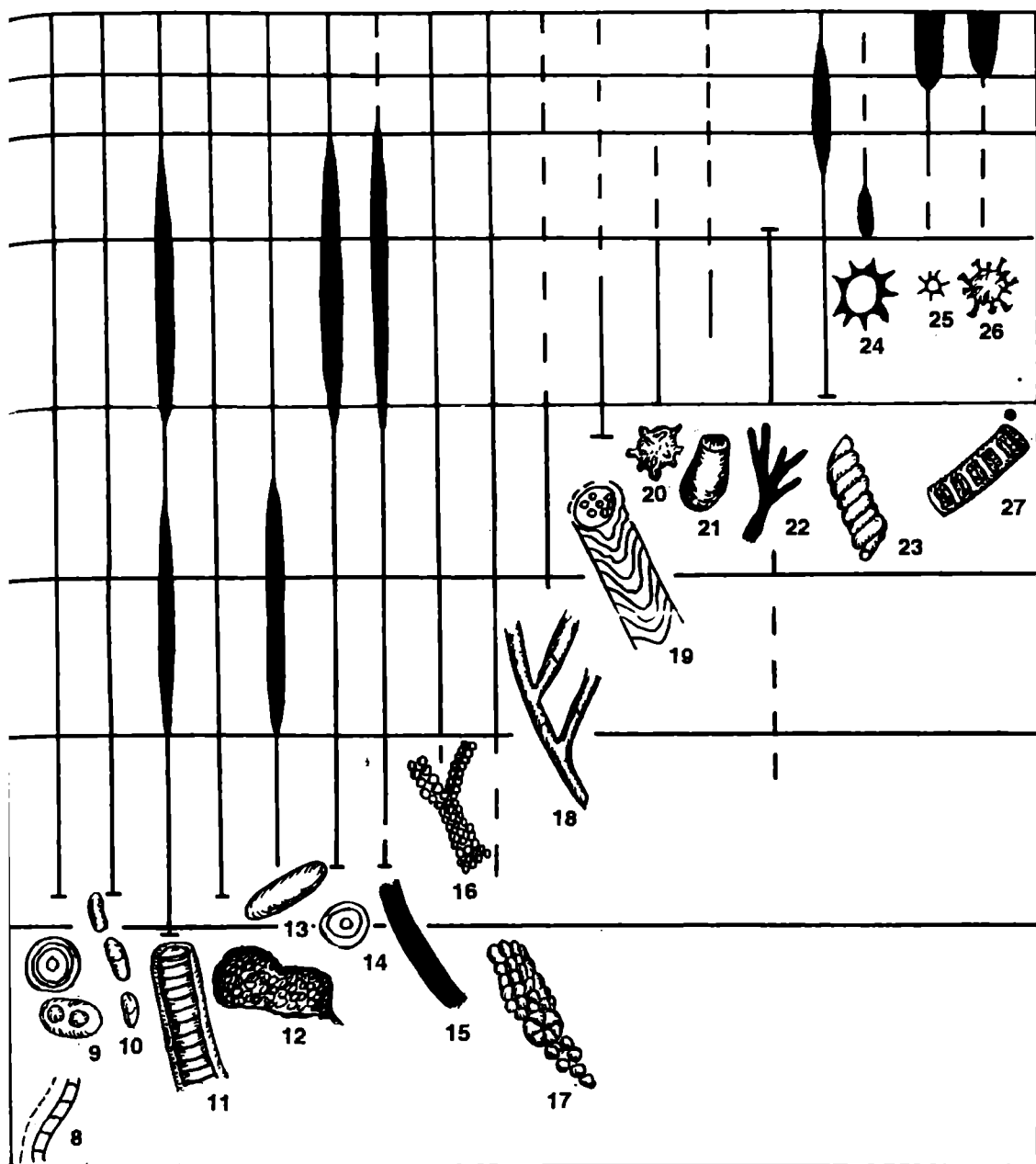
формации, которая поступает из сравнительных биологических и молекулярных исследований живых организмов. Кроме того, современные цианобактериальные маты лагун, термальные источники, содовые озера служат местообитанием реликтовых микробных сообществ, которые дают важную таксономическую и экологическую информацию о возможных условиях жизни в отдаленном прошлом.

Таким образом, наиболее примечательная особенность палеонтологии докембрия состоит не в том, что наше понимание так неполно, но в том, что мы так много узнали за прошедшие 40 лет. Несмотря на неполноту летописи, мы знаем, что прокариоты создали сложные экосистемы уже 3.5 млрд. лет назад; мы знаем, что накопление кислорода в атмосфере в течение палеопротерозоя способствовало новому взрыву биоразнообразия, включая возникновение путем симбиогенеза эвкариотной клетки, способной к аэробному дыханию; мы знаем, что эвкариоты быстро распространились около 1000 млн. лет назад; мы знаем, что за последующим подъемом содержания атмосферного кислорода появились крупные животные и настала современная эра. Эта картина показывает, что жизнь эволюционировала вместе со средой обитания на Земле, «биологическая» и «физическая» Земли объединены в одну систему, в которой обе стороны участвуют в биогеохимических циклах. Например — в цикле углерода: благодаря парниковому эффекту в атмосфере летучие компоненты воздействуют на климат; благодаря образованию карбонатных осадков он сопрягается с циклами других элементов и определяет среду обитания для морских организмов; благодаря захоронению органического вещества и его окислению цикл углерода определяет содержание кислорода в атмосфере. Когда события в развитии углеродного цикла привели к повышенному содержанию кислорода, жизнь эволюционировала с образованием все новых и разнообразных форм. Но они не вытеснили более

⁸ Knoll A.H., Sergeev V.N. // *Neus Jahrbuch für Geologie und Paluontology, Abhandlungen*, 1995. P.289—302.

Рис. 10. Схема распространения основных групп микроорганизмов в докембрии: 1—6 — морфологически сложные прокариотные микроорганизмы из микробиот ганглистского типа; 7 — мелкие (<10 мкм) одиночные сферические микрофоссилии; 8 — мелкие (диаметром <10 мкм) нитчатые микроорганизмы; 9 — одноклеточные хроококковые цианобактерии (род *Gloeodiniopsis*); 10 — одноклеточные эллипсоидные хроококковые цианобактерии (род *Eosynechococcus*); 11 — остатки нитей осцилляториевых цианобактерий; 12 — остатки энтофизалесовых цианобактерий (род *Eoentophysalis*); 13 — остатки акинет цианобактерий (род *Archaeoellipsoides*); 14 — остатки крупных сферических микрофоссилий; 15 — остатки крупных нитчатых микрофоссилий; 16 — остатки многогранных нитей цианобактерий; 17 — остатки плеурокапсолоподобных цианобактерий; 18 — ветвящиеся нити с перегородками; 19 — остатки стебельковых цианобактерий *Polybessurus*; 20 — акантоморфные акритархи рода *Trachyhuysrichosphaera*; 21 — микрофоссилии вазовидной формы рода *Melanocyrrillium*; 22 — остатки ветвящихся нитей вошериевых водорослей (рода *Proterocladus* и *Ulophyton*); 23 — спирально-цилиндрические микрофоссилии рода *Obruchevella*; 24 — крупные акантоморфные акритархи нижневендского возраста; 25 — мелкие акантоморфные акритархи; 26 — акантоморфные акритархи родов *Skiagia* и *Baltisphaeridium*; 27 — остатки бангиевых водорослей. Главный рубеж увеличения разнообразия эукариотных микроорганизмов на границе мезо- и неопротерозоя показан цветом. По: Сергеев В.Н. Окремненне микрофоссилии докембрия и кембрия Урала и Средней Азии. М., 1992.





ранние организмы; скорее они добавились к ним, ведя к большей сложности экосистем, которые продолжают до сих пор основываться на фундаменте

бактериальных процессов, возникших в начале истории планеты.

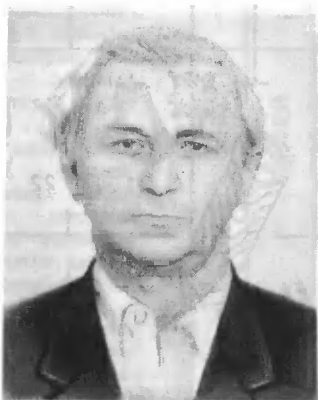
Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 95-05-14575.

Порядок и беспорядок в астрофизике

Г.С.Бисноватый-Коган

Лицом к лицу лица не увидать.
Большое видится на расстояньи.

С.Есенин



Геннадий Семенович Бисноватый-Коган, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института космических исследований РАН. Область научных интересов — теоретическая астрофизика, вопросы строения и эволюции звезд, рентгеновская и γ -астрономия. Неоднократно публиковался в «Природе».

СТОХАСТИЧЕСКОЕ, или беспорядочное, поведение различных систем часто встречается в природе: движение молекул в газе и жидкости, макроскопические перемещения в турбулентной среде — пожалуй, наиболее известные примеры стохастичности в физике и механике.

Явления гигантских масштабов, наблюдаемые в космосе — в планетах, звездах, галактиках и даже во Вселенной в целом, — также демонстрируют стохастическое поведение. Об этих астрофизических «беспорядках» и пойдет речь в данной статье.

Состояние беспорядка, в котором пребывает система, характеризуется определенными закономерностями и причинными связями. Их изучение позволяет предсказывать поведение стохастических систем, но не детерминированным, а вероятностным способом.

ИНДЕТЕРМИНИЗМ И СТОХАСТИЧНОСТЬ

Когда рассматриваются объемы газа, содержащие гигантское количество атомов и молекул (10^{20} в одном кубическом сантиметре воздуха), мы легко свыкаемся с мыслью, что движение каждой частицы невозможно проследить именно из-за того, что их слишком много. Объем информации о мгновенном состоянии всех до единой этих молекул столь велик, что намного

превосходит суммарные информационные возможности всех вычислительных машин на Земле, включая внешние магнитные запоминающие устройства¹. Использование вероятностного описания такой системы кажется естественным. Долгое время существовало убеждение, что с уменьшением числа молекул наступит ситуация, когда движение их можно будет характеризовать детерминированным образом. Однако все оказалось гораздо сложнее, и для описания поведения отдельных электронов, атомов и молекул потребовалось создание квантовой механики.

Согласно квантовой механике, невозможно полностью детерминированно указать состояние атомов или молекул. Даже поведение малого числа частиц жидкости или газа является принципиально индетерминированным, подчиняющимся принципу неопределенности Гейзенберга. Для некоторых физиков выводы квантовой механики казались противоречащими здравому смыслу, что видно из известного высказывания А.Эйнштейна: «Бог не играет в кости». Будучи сам одним из создателей квантовой механики, он, тем не менее, до конца жизни не верил в ее завершенность и надеялся, что последующее развитие науки восстановит детерминированность классического толка в микромире.

Индетерминизм, вероятностный характер поведения элементарных частиц не означает, что их поведение стохастично. Волновые функции, определяющие состояние частицы, удовлетворяют уравнению Шредингера и не имеют ничего общего с функциями распределения стохастических систем. На них бессмысленно распространять такие стохастические понятия, как

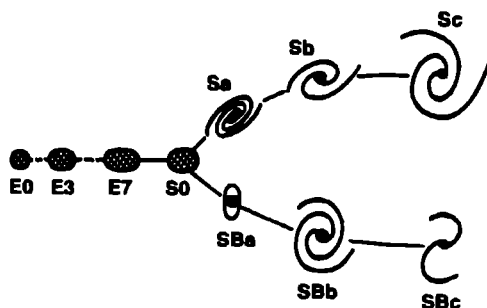


Рис.1. «Камертонная» диаграмма Хаббла, на которой наблюдаемые галактики упорядочены по их форме. Слева — эллиптические галактики, форма которых изменяется от почти шаровых (E0) до сильно сплюснутых (S0). Спиральные галактики справа составляют две последовательности, отличающиеся типом центральной области. Вверху расположены те, что имеют шарообразные центральные области (Sa — Sc), а внизу — вытянутые (SBa — SBc). Степень развития спиральных рукавов в обоих семействах увеличивается слева направо.

эргодичность², закон возрастания энтропии, распределение Гиббса.

Таким образом, индетерминизм и стохастичность не идентичны. Вторая включает в себя первый, но первый существует и независимо от второй. Далее мы не будем касаться индетерминизма, обусловленного законами квантовой механики, а ограничимся классическими системами, индивидуальные члены которых, в принципе, могут быть описаны строго детерминированно.

БОЛЬШИЕ СИСТЕМЫ И СТОХАСТИЧНОСТЬ: ЗВЕЗДНАЯ ДИНАМИКА

Звездная динамика изучает движение звезд в галактиках — гигантских звездных системах, содержащих миллиарды и даже триллионы звезд.

¹ Если использовать хотя бы 10 байт информации для описания состояния каждой из молекул (координаты и скорости), то 10^{21} байт потребуются только для рассмотрения одного кубического сантиметра воздуха. Объем информации, уместившийся на современном магнитном диске, — около 10^9 байт, т.е. нужно 10^{12} дисков. Это порядка на 3 больше того, что имеется к настоящему времени.

² Эргодическая гипотеза (для многих конкретных систем доказанная как теорема) утверждает, что почти любая траектория системы находится одинаковое время в равных по объему областях фазового пространства. Это соответствует тому, что среднее по времени для одной фазовой траектории совпадает со средним по пространству для множества заполняющих его траекторий.



Рис.2. Бароспиральная галактика NGC 1365. Спирали начинаются не из центра, а из двух концов сплюснутого центрального тела — бара. (Снимок с телескопа 3^м.6 в Чили. Mercury. 1981. V.10. № 2.)

Форма галактик отличается большим разнообразием, однако можно проследить и регулярные ее изменения на диаграмме, предложенной в 1930 г. американским астрофизиком Э.Хабблом (рис.1). Почти сферическая для галактик типа E0, эта форма затем становится все более сплюснутой. По мере увеличения сплюснутости, начиная с галактик типа S0, последовательность дисковых галактик раздваивается на спиральную (верхняя) и бароспиральную (нижняя). В центре бароспиральных галактик расположены вытянутые образования типа «палки», у которых гравитационный потенциал сильно отличается от осесимметричного (рис.2).

Для описания звезд в галактиках из-за их колоссального количества используются методы кинетической теории газов, основанные на работах Максвелла, Больцмана и Гиббса. Однако даже при наличии огромного числа членов поведение динамической системы может с большой точностью оставаться регулярным. Такое регуляр-

ное движение звезд в галактиках часто имеет место. Связано это с тем, что столкновения звезд гораздо менее существенны, чем движение каждой из них в усредненном (самосогласованном) гравитационном поле, создаваемом всеми звездами. Таким свойством обладают все системы, члены которых взаимодействуют друг с другом с силами, подчиняющимися закону обратных квадратов (дальнодействующие силы Ньютона или Кулона). Кроме звездных скоплений, бесстолкновительной системой с самосогласованным полем можно считать в ряде случаев плазму — ионизованный газ³.

В лабораторной бесстолкновительной плазме интервал времени между кулоновскими столкновениями электронов и ионов хотя и велик по сравнению с другими характерными временами (например, временем про-

³ Кинетическое уравнение для бесстолкновительной плазмы с самосогласованным полем было выведено Н.А.Власовым в 1938 г. Интересно, что гораздо раньше, в 1915 г., аналогичное уравнение было получено Д.Джинсом для звездной системы.

лета между стенками камеры), но вполне конечен. В галактиках же время между столкновениями звезд может быть столь значительным, что превысит время расширения Вселенной, поэтому условие бесстолкновительности выполняется почти абсолютно. Если столкновения в системе с большим числом частиц неизбежно делают ее стохастической, бесстолкновительные системы не обязательно являются таковыми.

Рассмотрим шаровое скопление звезд, в котором все они движутся по окружностям (модель Эйнштейна⁴). Очевидно, что здесь стохастичность отсутствует, так как можно точно предсказать движение каждой звезды. Аналогичным свойством обладают бесстолкновительные системы с квадратичным гравитационным потенциалом типа $\Phi = ax^2 + by^2 + cz^2 + d$. В таких системах звезды совершают независимые гармонические колебания в каждой из координатных плоскостей, но периоды колебаний одинаковы для всех звезд. Например, функция распределения звезд в однородном шаре единичного радиуса с плотностью ρ_0 , в сферической системе координат (r, ϑ, φ) , с компонентами скоростей $(v_r, v_\vartheta, v_\varphi)$, имеет вид

$$f_s = \begin{cases} \frac{\rho_0}{\pi^2} \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)(1-v_r^2) - v_r^2}} & \text{при } (1-r^2)(1-v_r^2) - v_r^2 > 0, \\ 0 & \text{при } (1-r^2)(1-v_r^2) - v_r^2 < 0, \end{cases}$$

где $v_1^2 = v_\vartheta^2 + v_\varphi^2$. Легко проверить, что $\int f_s dv_r dv_\vartheta dv_\varphi = \rho_0$. Функция распределения f_s связана с двумя интегралами движения звезды в самосогласованном поле: энергии $E = m(v^2/2 + \Phi)$ и центрального углового момента $L = mv_1 \cdot r$. Можно показать, что любая равновесная звездная система с функцией распределения, зависящей только от этих двух интегралов движения, не может быть стохастичной. Все звезды движутся по поверхностям, на которых эти интегралы постоянны, и такие интегральные поверхности играют роль

барьеров, препятствующих перемешиванию звезд из различных групп.

Изучение интегральных поверхностей в моделях звездных систем позволяет глубже понять их природу, а также открывает возможность исследовать зарождение стохастичности, определить условия перехода от порядка к беспорядку, выявить свойства промежуточных состояний. Этим проблемам посвящен цикл работ астрофизика из Санкт-Петербурга В.А.Антонова⁵.

ПЕРЕХОД ОТ ПОРЯДКА К БЕСПОРЯДКУ

В работах Антонова показано, что стохастичность в звездодинамических системах (галактиках) зависит от гладкости, аналитичности и непрерывности инвариантных поверхностей, связанных с интегралами движения. Гладкие аналитические поверхности разделяют фазовое пространство, препятствуя перемешиванию и стохастизации. Перемешивание начинается тогда, когда в инвариантных поверхностях появляются щели и нарушается условие их однозначности и непрерывности. Если щели узкие, траектории звезд остаются почти периодическими (условнопериодическими по терминологии Антонова), но в редких случаях возможно «просачивание» звезд сквозь эти щели, что ведет к частичному перемешиванию. При большом количестве и больших размерах щелей скорость этого процесса увеличивается. Когда время стохастизации оказывается меньше естественного масштаба — времени расширения Вселенной, — можно говорить о возникновении стохастической системы. В звездных скоплениях существование переходных между регулярными и стохастическими системами может быть связано с тем, что время существования скопления сравнимо с характерным временем просачивания через щели в инвариантных поверхностях, и их соотношение

⁵ Антонов В.А. Соотношение упорядоченности и беспорядка в движении тела в гравитирующей системе (докт. диссертация). Л., 1983.

⁴ Эйнштейн А. Собрание трудов, М., 1966. Т.2. С.514.

определяет степень стохастизации в настоящую эпоху. В этом смысле роль бесстолкновительной стохастизации аналогична стохастическому действию столкновений между звездами, которые в реальных галактиках слишком редки, чтобы влиять на движение их звезд.

Остается, однако, невыясненным принципиальный вопрос: перейдет ли звездная система в стохастическое состояние за бесконечное время при наличии хотя бы одной малой щели? Другими словами, подобен ли переход от порядка к беспорядку фазовому переходу с резкой границей в области изменения параметров системы? Не имеется ли между этими состояниями нескольких или целого множества промежуточных? Исследование стохастических систем показало, что они могут сильно различаться по типу перемешивания. Возможно, существует аналогичная градация и для систем, промежуточных между упорядоченными и стохастическими. На примерах из звездной динамики можно представить себе их свойства.

Рассмотрим модель Эйнштейна для случая с неоднородной плотностью. Все звезды движутся по круговым орбитам, но их периоды, вообще говоря, несоизмеримы, и в фазовом пространстве имеет место эргодичность. С другой стороны, траектория каждой звезды известна и может быть точно предсказана на основе имеющегося периодического решения. Анализ показал, что при спадании плотности от центра данная модель является устойчивой относительно малых возмущений⁶.

Другим подобным примером является Солнечная система, включающая в себя планеты, астероиды и кометы. Даже с учетом взаимного влияния их друг на друга, которое мало по сравнению с притяжением Солнца, движение тел солнечной системы остается устойчивым (согласно

теореме Колмогорова — Арнольда — Мозера), хотя эргодичность имеет место. Таким образом, элементы упорядоченности в системе с большим числом членов сохраняются в некоторых случаях и при их взаимодействии, если роль его мала по сравнению с притяжением центрального тела.

Приведенные примеры обладают явными чертами как порядка, так и беспорядка.

Другая возможность, которая способна реализоваться, состоит в том, что, в силу сложности структуры гравитационного потенциала звездной системы, области стохастичности и упорядоченности одновременно сосуществуют в фазовом пространстве; по тому же признаку могут различаться орбиты отдельных звезд. Не исключено, что развитие стохастичности в звездной системе состоит в увеличении, начиная с некоторого граничного параметра, области стохастичности в фазовом пространстве.

ДВИЖЕНИЕ ЗВЕЗД В БАРОСПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИКАХ

Таким образом, для стохастизации системы недостаточно индетерминированности поведения и наличия большого числа ее членов. Истинной причиной возникновения стохастичности является неустойчивость фазовых траекторий элементов системы⁷.

В центре бароспиральных галактик находится вытянутое вращающееся массивное образование (бар), вносящее свой вклад в гравитационное поле, и в нем траектории звезд становятся неустойчивыми.

Неустойчивость фазовых траекторий звезд в скоплении связана со структурой инвариантных поверхностей: именно их разрывность, неаналитичность ведут к неустойчивости орбит, т.е. к расхождению траекторий движения звезд, сначала близких. В скоплениях с квадратичным гравитационным потенциалом все орбиты в

⁶ Пальчик М.Ф., Паташинский А.З., Пинус В.К. Устойчивые сферические галактики (препринт ИЯФ 100—70). Новосибирск, 1970.

⁷ Синай Я.Г. Случайность неслучайного // Природа. 1981. № 3. С.72—80.

указанном смысле устойчивы, так как частоты колебаний всех звезд вдоль главных осей симметрии одинаковы. Неустойчивые орбиты возможны не только в бароспиральных, но и в триаксиальных галактиках другого типа⁸.

АКТИВНОСТЬ ГАЛАКТИЧЕСКИХ ЯДЕР

Стохастичность звездных орбит в центральных областях галактик может приводить к важным астрофизическим следствиям. Одной из популярных моделей для объяснения активности галактических ядер и квазаров является гипотеза о существовании массивной черной дыры, окруженной плотным звездным скоплением. Источником активности служит энергия, которая выделяется при падении звезды в черную дыру. Гравитационный захват звезды черной дырой и ее приливное разрушение происходят в случае, когда звезда попадает в конус потерь, представляющий собой очерченную область в фазовом пространстве. Если звезды движутся по регулярным орбитам, которые определяются интегралами энергии и вращательного момента, то в конус потерь они могут попасть за счет медленной диффузии в пространстве интегралов движения, вызванной столкновениями между звездами или трением об окружающий газ. Звезды, которые заходят в конус потерь, быстро падают в черную дыру или приливно разрушаются; судьба звезды при этом зависит от массы черной дыры. Если скопление состоит из звезд типа нашего Солнца, то черные дыры с массой больше $10^6 M_{\odot}$ поглощают такую звезду целиком, а менее массивные приливно разрушают ее.

В случае стохастических орбит ситуация уже другая. Заполнение конуса потерь идет не только за счет редких парных столкновений или слабого трения, но и при попадании в него звезд, орбиты которых меняются

из-за случайных блужданий. Последний механизм может быть гораздо эффективнее, поэтому проявления активности ядер в таких моделях намного более вероятны⁹. Кстати, аналогичным образом стохастичность влияет на удержание плазмы магнитными ловушками в устройствах для термоядерного синтеза.

В галактиках идет процесс звездообразования, связанный с конденсацией газа, и одновременно происходит возвращение газа в межзвездную среду за счет потери массы звездами в ходе их эволюции. Исследование данных явлений, основанное на изучении химического состава звезд в зависимости от их массы и расположения в галактике, показало, что процесс этот протекает немонотонно: были периоды времени (и, возможно, их довольно много), когда звездообразование становилось особенно интенсивным. Анализ результатов наблюдений, а также уравнений, описывающих динамическую взаимодействующую систему звезды — газ, находящуюся в состоянии постоянного обмена веществом, указывает на возможность стохастического протекания звездообразования в галактиках.

Интересный пример хаоса в космосе можно обнаружить и «под боком» — это движение кометы Галлея. Основная сила, воздействующая на нее, — притяжение Солнца. Возмущения со стороны планет сравнительно малы, но именно их влияние, точнее — одного Юпитера, делает орбиту кометы Галлея стохастической. Вследствие этого нельзя точно предсказать эту орбиту для сближений с Землей в далеком будущем¹⁰.

ЗВЕЗДНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ И ХАОС

Так как неустойчивые фазовые траектории возможны и в системах с

⁹ Norman C., Silk J. // *Astrophys. J.* 1983. V.266. P.502—515; Вильковский Э.Я. Диссипативный захват звезд активными объектами (препринт ФИАН № 116). М., 1983.

¹⁰ Chirikov B.V., Vecheslavov V.V. // *Astron. Astrophys.* 1989. V.221. P.146—154.

⁸ Lake G., Norman G. // *Astrophys. J.* 1983. V.270. P.51—62.

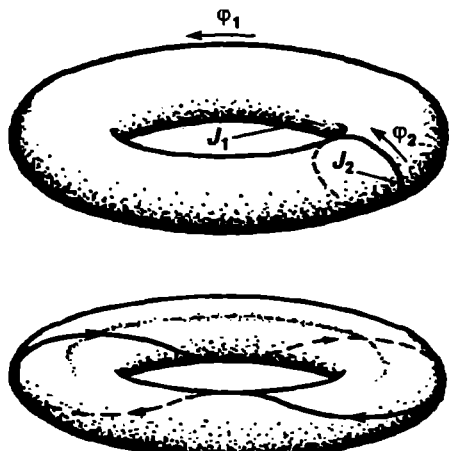


Рис.3. Тор, представляющий фазовое пространство системы двух осцилляторов. Траектория системы лежит на поверхности тора и характеризуется двумя угловыми координатами ϕ_1 и ϕ_2 на торе и двумя переменными действия J_1 и J_2 (интегралами движения), соответствующими большому и малому радиусу тора (сверху). Если частоты ω_1 и ω_2 соизмеримы, то траектория представляет собой простую замкнутую непересекающуюся линию на торе (снизу). Если же частоты несоизмеримы, то траектория плотно заполняет поверхность тора; она никогда не замыкается сама на себя.

малым числом степеней свободы, там также способен существовать хаос. Подобные хаотические состояния присущи перемещениям шаров на бильярдном столе, возмущениям в атмосфере, определяющим погоду, движению электронов и ионов в полях сильных и слабых электромагнитных волн, а также в магнитных полях сложной формы¹¹.

Последнее аналогично рассмотренной выше стохастичности звездных орбит. Разница в том, что траектории частиц в плазме стохастичны в заданных конфигурациях внешних полей, а орбиты звезд — в собственном самосогласованном гравитационном поле, поэтому для звездных систем в таких условиях общее число степеней свобо-

ды нельзя считать малым, хотя для отдельной звезды это так.

Наиболее простая система с перемешиванием в фазовом пространстве и чертами упорядоченности состоит из двух несвязанных гармонических осцилляторов с несоизмеримыми частотами (рис.3)¹²; ее фазовое пространство представляет собой тор. Она может служить прообразом эллипсоидального или сфероидального звездного скопления однородной плотности, где звезды колеблются в разных плоскостях также с несоизмеримыми частотами, с тем же отличием — поле звезд скопления самосогласовано. В таком скоплении звезды совершают периодические движения по трем осям независимо, и в общем случае их частоты несоизмеримы. Соизмеримость частот имеет место лишь для некоторых соотношений полуосей, например в однородном шаре, где все три частоты одинаковы. Тор может служить моделью фазового пространства плоского скопления (диска) эллиптической формы с распределением поверхностной плотности

$$\sigma = \sigma_0 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}, \text{ когда звезды перио-}$$

дически движутся по двум осям.

Возникновение хаоса в системе с небольшим числом степеней свободы происходит при плавном изменении одного из параметров (критического), характеризующих эту нелинейную систему. В этом случае обнаруживаются закономерности, общие для всех систем, вне зависимости от того, касаются ли они динамики атмосферы, гидромагнитного динамо или звездных пульсаций. При отсутствии хаоса в системе, ограниченной в фазовом пространстве, происходят периодические колебания. Изменение критического параметра и приближение к хаосу сопровождаются плавными и дискретными изменениями периода. Определяющими являются последние. Обнаруживается существование дискретной

¹¹ Заславский Г.М. Статистическая необратимость в нелинейных системах. М., 1970; Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику. М., 1988.

¹² Балеску Р. Равновесная и неравновесная статистическая механика. М., 1978.

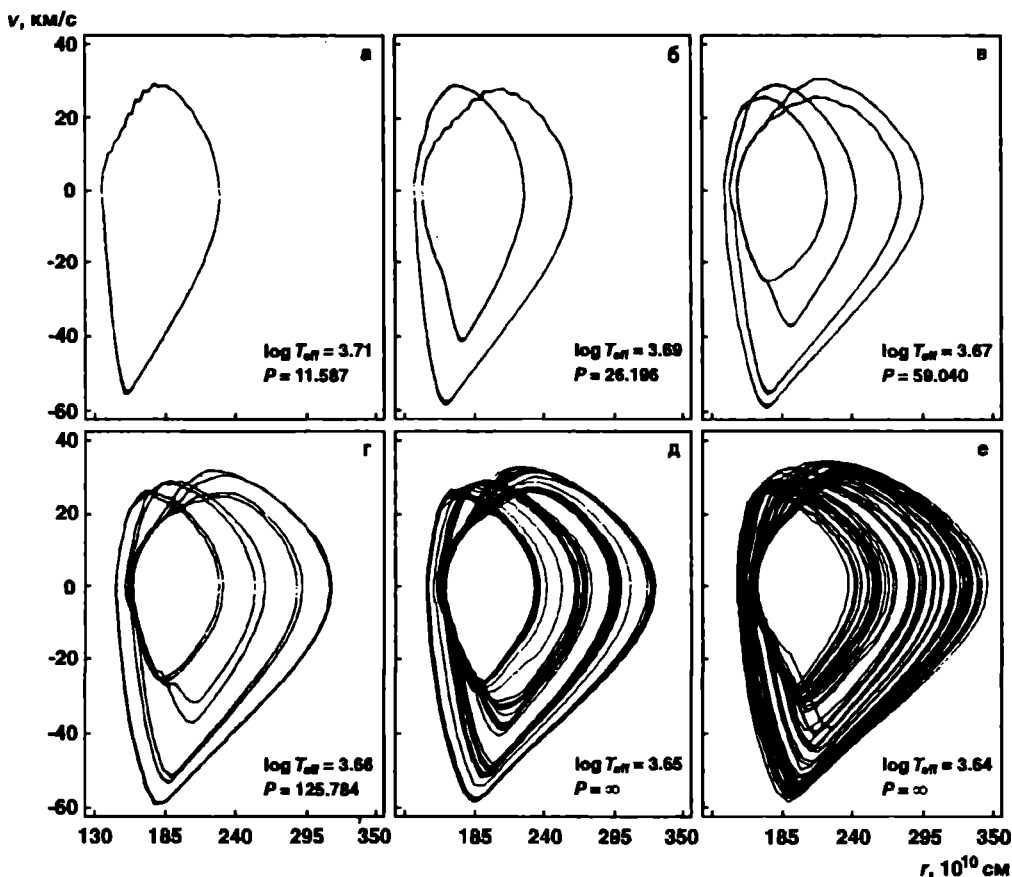


Рис.4. Картина колебаний в модели звезды типа Дубль В Девы на фазовой плоскости: радиус по абсциссе и скорость по ординате. Представлена фазовая диаграмма движения массового слоя оболочки № 55, близкого к поверхности, для различных значений параметров модели (а–е). На рисунках указаны задаваемые эффективные температуры T_{eff} и полученные из расчетов периоды P (в сутках). С уменьшением T_{eff} период колебаний растет, проходя через точки бифуркации и, наконец, обращается в бесконечность (д).

последовательности параметров (точек бифуркации), сходящейся к конечному пределу, так что при переходе параметра через каждое значение последовательности происходит удвоение периода. Таким образом, по достижении предельного значения параметра период пройдет неограниченно большое число удвоений, движение перестанет

быть периодическим и наступит хаос. Такое развитие хаоса было обнаружено, например, при построении модели колебаний светимости полурегулярных звезд типа РВ Тельца и Дубль В Девы, наблюдаемых в шаровых звездных скоплениях¹³.

Рассчитывались модели оболочек с массой $0.6 M_{\odot}$, светимостью 400 солнечных, разделенных на 60 массовых зон. Параметром, изменяющимся вдоль последовательности, являлась эффективная температура звезды. Как видно из рис.4, где представлены фазовые диаграммы на плоскости (r, v) для зоны номер 55, при уменьшении эффективной температуры от $\log T_{\text{eff}}=3.71$ (а) до 3.65 (д) период

¹³ Buchler J.R., Kovacs G. // *Astrophys. J.* 1987. V.320. P. L57–L62.



Рис.5. Кривые блеска звезд типа Т Тельца: видимая звездная величина как функция времени (отсчитываемого в Юлианских днях).

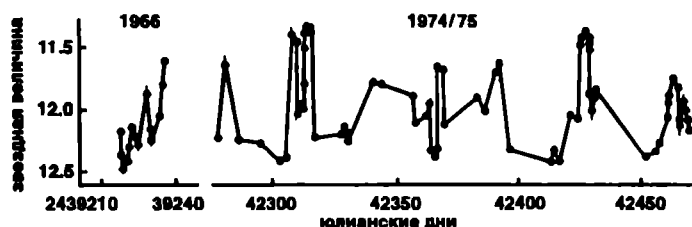
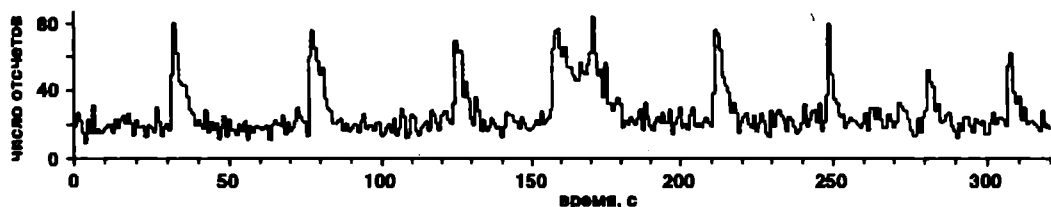


Рис.6. Временной ход всплеск «быстрого барстера» в рентгеновском диапазоне 1.3—12 кэВ: число отсчетов счет-



колебаний меняется от 11.6 суток до бесконечности, что означает наступление хаоса. Последовательность точек бифуркации здесь следует закону Фейгенбаума¹⁴, так же как и во многих других примерах из физики и математики.

Кривыми блеска, похожими на стохастические, обладают неправильные переменные звезды типа Т Тельца — молодые сжимающиеся звезды с массой немного больше солнечной (рис.5), которые светятся за счет выделения гравитационной энергии

¹⁴ Закон Фейгенбаума, установленный в 1978 г., определяет универсальное свойство поведения параметра, изменение которого вызывает удвоение периодов и в итоге приводит к хаотическому движению. Если период удваивается, когда параметр проходит последовательность значений λ_n имеющую конечный предел наступления хаоса λ_∞ , то существует одинаковый для самых различных примеров предел

$$\delta = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\lambda_{n+1} - \lambda_n}{\lambda_{n+2} - \lambda_{n+1}} = 4.6692016...$$

называемый числом Фейгенбаума. (См.: Фейгенбаум М. Универсальность в поведении нелинейных систем // Успехи физических наук. 1983. Т.141. С.343—374.)

при сжатии. По мере сжатия температура звезды увеличивается, и в итоге начинается термоядерная реакция превращения водорода в гелий. Именно в таком состоянии звезды проводят большую часть своей жизни (составляя так называемую главную последовательность на диаграмме Герцшпрунга—Рассела, показывающей зависимость светимости звезд от их температуры в логарифмических координатах). Обычно предполагается, что причиной хаотических колебаний блеска в звездах типа Т Тельца является конвекция, однако здесь также может возникнуть хаос за счет нелинейного взаимодействия небольшого числа неустойчивых колебательных мод. Стохастические пульсации, по-видимому, присутствуют в звездах типа ZZ Кита и в быстро осциллирующих пекулярных А звездах.

Нерегулярные колебания блеска свойственны большинству рентгеновских источников. Наиболее ярко это демонстрируют всплесчные рентгеновские источники — барстеры. Время от времени, с интервалами от секунд до месяцев, происходит быстрое увеличе-

ние светимости в десятки раз. Временной интервал между вспышками и их мощность меняются нерегулярно, указывая на хаотическую природу вспышек (рис.6). Предполагается, что большая часть барстеров вспыскивает из-за неустойчивости ядерного горения и взрыва в веществе, аккрецирующем на нейтронную звезду. Однако проведенные расчеты дают картину регулярного развития и повторяемости взрывов при заданном регулярном темпе аккреции, так что пока неясно, почему вспышки на рентгеновских барстерах происходят столь хаотически.

СТРАННЫЕ АТТРАКТОРЫ

Часто фазовая диаграмма хаотической системы с тремя степенями свободы имеет вид спирали, вращающейся вокруг то одного, то другого центра и хаотически переходящей от одного центра к другому. Такое поведение впервые было обнаружено в уравнениях, описывающих вихри в земной атмосфере, и картина была названа странным аттрактором¹⁵.

При рассмотрении истории земного магнетизма создается впечатление, что диполь Земли много раз и нерегулярным образом менял свою полярность и что даже при сохранении знака его величина флуктуирует. В настоящее время принимается, что нерегулярность изменений полярности следует из свойств динамо-механизма генерации поля, а не является результатом воздействия на ядро Земли каких-либо нерегулярных сил. Модель двухдискового динамо Рикитаке — пример динамической системы хаотического поведения с двумя аттракторами. Неясно, однако, насколько применима она к описанию реального земного динамо. Хаотическое поведение во времени демонстрирует и крупномасштабное магнитное поле Солнца. Наличие аттрактора в солнечном

цикле твердо не установлено, хотя соответствующие модели предлагались. Явно хаотическими являются изменения кривой блеска многих рентгеновских источников, однако поиск аттракторов здесь также не дал определенных результатов.

Особенности системы со странными аттракторами позволяют характеризовать ее стохастические свойства при помощи распределения вероятностей $W_1(r_1)$ и $W_2(r_2)$, где r_1 и r_2 есть число вращений до перехода спирали на другой аттрактор. При этом $\sum_{r_1} W_1(r_1) + \sum_{r_2} W_2(r_2) = 1$. По аналогии со статистической физикой можно ввести одночастичную энтропию системы $S_1 = -\langle W_1(r_1) \cdot \ln W_1(r_1) \rangle - \langle W_2(r_2) \cdot \ln W_2(r_2) \rangle$. Вычисление S_1 проводится с помощью численного интегрирования на достаточно большом промежутке времени τ , чтобы успели проявиться стохастические свойства. Если система стохастична, то с ростом τ величина S_1 должна возрастать. Со своей стороны поведение S_1 может служить критерием стохастичности динамической системы с малым числом степеней свободы.

ДВА ПРОЯВЛЕНИЯ СТОХАСТИЧНОСТИ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Как уже отмечалось, основная причина стохастичности системы — неустойчивость ее движения вдоль фазовых траекторий. Это означает, что траектории с близкими начальными данными со временем расходятся настолько далеко, что невозможно предсказать их последующее поведение, сравнивая с близкими ранее соседями. Мы назовем это проявление стохастичности внешним, так как оно связано с изменением начальных условий.

Однако стохастичность поведения системы видна уже при анализе одной полностью определенной интегральной кривой. Она проявляется в том, что по предыдущему, сколь угодно большому интервалу интегрирования невозможно предсказать поведение этой кривой

¹⁵ Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И. Хаотическая динамика простых систем // Природа. 1981. № 2. С.54—65.

при дальнейшем интегрировании. В этом состоит внутреннее проявление стохастичности, не связанное с начальными условиями¹⁶.

Для фазовой кривой с двумя аттракторами стохастические свойства определяются распределением вероятностей $W_1(r_1)$ и $W_2(r_2)$ и энтропией S_1 . Эти величины могут быть рассчитаны двумя способами: либо при помощи большого числа интегрирований с различными начальными данными и интервалами интегрирования τ_1 , содержащими несколько переходов с одного аттрактора на другой, либо с помощью одной интегральной кривой, получаемой за столь большой интервал времени $\tau = N \cdot \tau_1$, что на нем проявляются все стохастические свойства системы. Совпадение усредненных характеристик, полученных обоими способами, свидетельствовало бы об эргодичности системы с двумя аттракторами.

ДЕТЕРМИНИЗМ ЗАКОНОВ МЕХАНИКИ И СТОХАСТИЧНОСТЬ

Стохастические системы со временем стремятся к термодинамически равновесному состоянию с максимальной энтропией, которая является мерой хаоса. Вместе с тем, каждый элемент системы подчиняется динамическим уравнениям, обратимым во времени. Этот парадокс устраняется, если проанализировать зависимость детерминированных решений, задающих поведение динамической системы, от начальных условий. Состояние максимально возможного хаоса, к которому стремится система, может быть получено почти из всех начальных условий. Зато любое состояние, отличное от равновесного, можно получить лишь для такого узкого интервала начальных условий, что оно практически не реализуется. Тем не менее, и в равновесной системе всегда есть

флуктуации, напоминающие об обратимости законов механики.

Проследим за движением одного элемента стохастической системы (например, звезды). В принципе, его траектория может быть прослежена точно, даже если ее форма окажется весьма причудливой. Любая стохастическая траектория, вычисляемая на работающей без сбоев машине, полностью воспроизводится при строгом повторении начальных условий. На разных машинах из-за неустойчивости решения и особенностей округления результаты могут со временем разойтись¹⁷.

О стохастичности можно говорить лишь после усреднения и огрубления этой фазовой траектории и всей картины движения звезд в системе. После усреднения беспорядочное движение частиц газа или звезд в скоплении описывается не детерминированно, а вероятностно, когда нет избыточной информации. При этом яснее становятся общие свойства системы, что обычно важнее знания точных траекторий отдельных звезд.

Для одной и той же системы возможно применение нескольких уровней усреднения. Например, для обычного газа или звезд используется одночастичная функция распределения f_1 , которой соответствует энтропия S_1 , растущая из-за столкновений: $S_1 = -\langle f_1 \ln f_1 \rangle$. В бесстолкновительной системе этого уровня усреднения уже недостаточно. Действительно, перемешивание в фазовом пространстве, например, при квазилинейной релакса-

¹⁷ Примером зависимости результата от типа машины является оценка хода эволюции звезд средней и большой массы при наличии петель на диаграмме Герцшпрунга—Рассела. Петли появляются, видимо, вследствие какой-то неустойчивости, скорее всего реально существующей, но, возможно, и численной. Во всяком случае, форма петель меняется от варианта к варианту, а если счет ведется на разных машинах, то результаты оказываются различными при расчете одного и того же варианта. Наличие голубой звезды в качестве предсверхновой SN 1987a как будто свидетельствует в пользу реальности петель, так как звезда могла взорваться, находясь на участке петли, расположенной в голубой части диаграммы Герцшпрунга—Рассела.

¹⁶ Бисноватый-Коган Г.С. О двух проявлениях стохастичности в динамических системах (препринт ИКИ АН СССР 635). 1981.

ции пучка в плазме или при переходе звездной системы в равновесие после коллапса в результате «бурной релаксации» сопровождается увеличением степени хаотизации, в то время, как величина S_1 при этом не меняется. Для адекватного описания этого процесса необходимо рассматривать вероятности состояний не отдельных частиц или звезд, а их групп. Процедура такого усреднения не будет тривиальной.

Наглядное представление о различных степенях усреднения дает картина, наблюдаемая при удалении от поверхности Земли. Стоя на Земле, мы видим камни, деревья, неровности почвы. С высоты одного километра мы различаем поля с четкими границами, участки лесных массивов, разделенные просеками. С высоты 50 км воспринимаются зеленые массивы лесов, светящиеся ночью пятна больших городов и другие крупные объекты. С высоты 5000 км в поле зрения только вода и суша без особых деталей. За пределами Солнечной системы видно Солнце, окруженное планетами, а за пределами Галактики — светящийся диск, состоящий из 10^{11} — 10^{12} звезд. При каждом усреднении, проводимом глазом, мы теряем много информации, но приобретаем знание общих закономерностей. Статистические законы помогают преодолевать ситуацию, которая выражается известной поговоркой: «За деревьями леса не видно».

Поведение большой группы живых существ также описывается

законами, имеющими вероятностный характер при полной определенности поведения отдельного индивида. Так, хаотически выглядит черная масса муравьев в муравейнике или на площади большой толпы людей. Можно вычислить средние скорости их движения, другие усредненные характеристики, хотя каждый человек и даже муравей делают свое конкретное дело.

При неизменных внешних условиях хаотическая система стремится к определенному состоянию, обладающему максимальной вероятностью реализации и соответствующему максимуму энтропии. При медленных изменениях внешних параметров энтропия сохраняется. Если же внешние условия меняются с характерным временем, которое сравнимо с временем релаксации, то равновесное состояние не достигается. В этой ситуации система находится в процессе постоянного изменения и переходит от одного состояния к другому. В физике подобные явления описываются кинетическими теориями.

В системе со странным аттрактором динамическое поведение решения и изменение его стохастических свойств можно изучать, медленно меняя параметры задачи. Интересно проверить: сохранится ли энтропия системы, введенная выше, при медленных изменениях параметров, существуют ли аналоги адиабатических инвариантов. Эти вопросы пока не решены.

Земное эхо космических катастроф

К. А. Постнов,

кандидат физико-математических наук

Московский государственный университет

им. М.В.Ломоносова

МОЖНО безошибочно утверждать, что интерес к судьбе цивилизации всегда занимал умы человечества. Пристальное внимание мировой общественности уделяет возможным последствиям для Земли космических событий с огромным энерговыделением («космических катастроф»). Особый интерес как ученых специалистов, так и широкой публики вызвало столкновение кометы Шумейкеров—Леви-9 с Юпитером в июле 1994 г.¹ Серьезные ведомства и в России (такие как Минобороны и Минатом), и за рубежом изучают возможные схемы защиты Земли от столкновений с большими астероидами и кометами всеми имеющимися средствами, включая ядерное оружие.

Однако хорошо известно, что кроме непосредственного столкновения Земли с кометами или астероидами, находящимися в Солнечной системе, на биосферу Земли могут существенно повлиять и другие космические явления. К таким событиям относятся те, в результате которых выделяется большое количество жесткого электромагнитного излучения (рентгеновских и гамма-квантов) и космических лучей — весьма энергичных заряженных частиц (электронов, позитронов, протонов и т.д.). В первую очередь — вспышки сверхновых звезд, которые происходят в конце эволюции достаточно массивных звезд (как минимум в 10 раз более массивных, чем Солнце), когда в ходе термоядерных реакций внутри звезды образуется ядро из элементов группы железа с массой около двух масс Солнца $M_{\odot}$. В силу различных

физических причин упругость такого «железного» ядра оказывается недостаточной, чтобы противостоять давлению гравитации, действующей со стороны звездной оболочки, и начинается катастрофическое сжатие ядра (так называемый коллапс), длительность которого примерно равна времени свободного падения (несколько минут). По современным представлениям, сжатие может остановиться лишь по достижении плотности, сравнимой с ядерной (около 10^{14} г/см³). Тогда образуется либо нейтронная звезда с массой $M \sim 1.4 \cdot M_{\odot}$ и радиусом $R \sim 10$ км, либо, если масса коллапсирующего ядра достаточно велика (в несколько десятков раз более массивных, чем Солнце), — черная дыра. При этом выделяется гравитационная энергия, по порядку величины равная энергии связи оставшейся нейтронной звезды: $GM^2/R \sim 10^{53}$ эрг (здесь G — гравитационная постоянная). Большая часть энергии выделяется в виде нейтрино — слабо взаимодействующих с веществом частиц — о них более подробно скажем ниже.

Конечно, взрыв сверхновой, сопровождаемый огромным потоком энергии, может оказать заметное влияние на земную биосферу, если такая вспышка происходит достаточно близко от Солнечной системы, т.е. на расстояниях порядка 10—100 парсек (пк). (Напомним, что в астрономии удобной мерой длины является расстояние, на котором большая полуось земной орбиты — около 150 млн. км — видна под углом в одну дуговую секунду; нетрудно сосчитать, что 1 ПК приблизительно равен $3 \cdot 10^{13}$ км; свет, распространяющийся в пустом пространстве со скоростью 300 тыс. км/с, проходит расстояние в 1 ПК за время

© Постнов К.А. Земное эхо космических катастроф.

¹ Силкин Б.А. // Природа. 1994. № 12.

около 3.26 года.) Это воздействие может быть двояким: электромагнитным и нейтринным. Рассмотрим вначале эффект электромагнитного облучения, так как оно более подробно изучено.

Как было показано в 1974 г. М.Рудерманом из Колумбийского университета², типичная вспышка сверхновой на расстоянии 10—30 пк с энерговыделением $\sim 10^{48}$ эрг за несколько секунд способна уменьшить озоновый слой Земли с 3 мм при нормальных условиях (давление ~ 1 атм, температура $\sim 20^\circ\text{C}$) до 0.15 мм. Восстановление же озонового слоя будет происходить в течение 100 лет. Таким образом, хотя прямого воздействия на поверхность Земли вспышка близкой сверхновой не оказывает, ее косвенное влияние проявится в огромном увеличении (в миллионы раз) потока солнечного УФ-излучения с длиной волны короче 3100 Å, которое в обычных условиях полностью поглощается в озоновом слое. Такое жесткое УФ-излучение губительно для многих видов бактерий (Рудерман приводит в качестве примера *Escherichia coli*), растений и животных. Даже водные организмы не защищены от такого излучения, ведь коэффициент поглощения излучения с длиной волны 2900 Å водой составляет всего $7 \times 10^{-3} \text{ см}^{-1}$.

Обратимся теперь к возможным последствиям нейтринного облучения. Оценка, приведенная выше, показывает, что поток нейтрино на Земле через единицу поверхности от вспышки сверхновой за характерное время нейтринного импульса 10 с составляет $\sim 6 \cdot 10^{11} \text{ (г/10 кпк)}^{-2} \text{ нейтрино/см}^2$. Если взрыв происходит на расстоянии $r=10$ кпк, этот поток сравним с потоком нейтрино от Солнца (правда, солнечные нейтрино имеют на порядок более низкую энергию, чем нейтрино от звездных коллапсов). Нетрудно видеть, что если коллапс происходит на расстоянии в несколько парсек, поток нейтрино в миллионы раз

превзойдет солнечный. Сможет ли это повлиять на живые организмы? Такой вопрос недавно был поставлен американским астрофизиком Дж. Колларом (J.I.Collar) из Университета Южной Каролины. Оказывается, столь сильное нейтринное облучение может заметно повлиять на живую материю, и вот почему. Типичная энергия нейтрино, излучаемых сверхновой, — порядка 10 МэВ ($\sim 2 \cdot 10^{-5}$ эрг). Нейтрино с такой энергией главным образом упруго рассеиваются на ядрах материи, причем большая часть нейтрино в живой ткани — на атомах кислорода (так как в них больше всего протонов и нейтронов). Число актов рассеяния на 1 кг живой материи при расстоянии до источника нейтрино в 1 пк оценивается в $\sim 7 \cdot 10^5$. В каждом акте рассеяния протоны и нейтроны получают небольшую энергию, эквивалентную малой дозе радиации. Как показывают радиобиологические исследования, малые дозы высокоэнергичной радиации, нарушая последовательности ДНК, способны наносить вред клеткам на генетическом уровне с непредсказуемыми последствиями для живого организма (мутации, онкологические заболевания и проч.). Оценки Коллара показывают, что при типичной вспышке сверхновой на расстоянии 1 пк от Земли количество пораженных ядер клеток на 1 кг живой ткани составит примерно 10 000. В отличие от других типов радиации (гамма-излучение, быстрые нейтроны), которые эффективно поглощаются поверхностными тканями живых организмов, нейтрино проникает глубоко внутрь организма и действует, например, на морских обитателей в той же степени, что и на обитателей суши. Опираясь на астрономические данные, Коллар считает, что каждые 100 млн. лет может возникать нейтринный импульс, способный драматическим образом повлиять на жизнь на Земле. Тем самым предлагается еще одна космическая гипотеза, объясняющая массовое вымирание видов.

Как часто могут вспыхивать столь близкие к Земле сверхновые? Из астрономических наблюдений извест-

² Ruderman M. // Science. 1974. V.184. P.1079.

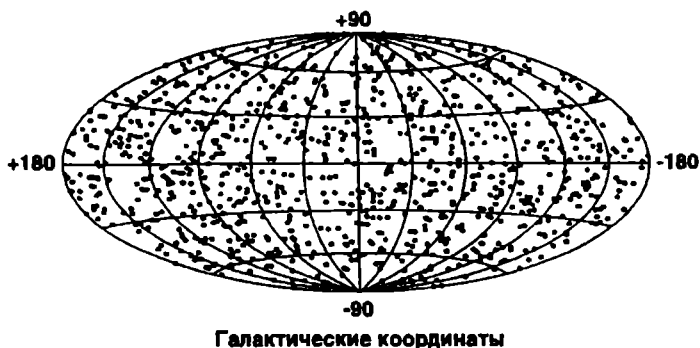


Рис.1. Распределение источников гамма-всплесков в галактических координатах (указаны точками) на небесной сфере. Измерения 1991—1995 гг., по данным 3-го каталога «BATSE» (май 1995).

но, что в среднем они вспыхивают в нашей Галактике один раз в 30—50 лет, откуда следует, что сверхновые на расстоянии 10—30 пк от Солнца могут взрываться примерно раз в 100 млн. лет. К счастью, в настоящее время столь близко от Солнца звезд с массой больше десяти солнечных, которые взрываются как сверхновые в конце своей эволюции, не обнаружено. Звезды же с массой менее 10 масс Солнца в конце эволюции превращаются в вырожденных белых карликов. При их образовании выделяется гораздо меньше энергии, чем при вспышке сверхновой, так что такие события совершенно не влияют на жизнь на Земле (если не считать, конечно, эволюции самого Солнца, которое позднее на стадии красного гиганта увеличит свой радиус в сотни раз, и Земля попросту окажется внутри разреженной горячей солнечной плазмы. Но до этого еще пройдет не менее 5 млрд. лет).

Существует еще одна «космическая катастрофа», последствия которой могут быть не менее грозными, чем вспышка близкой сверхновой. Речь идет о загадочных источниках гамма-всплесков — жесткого электромагнитного излучения с энергией 30 кэВ — 1000 МэВ. Открытые в конце 60-х годов американскими военными спутниками Вела, эти источники, природа которых до сих пор неясна, остаются «головной болью» астрофизиков конца XX в. Отличительная их особенность состоит в том, что они очень изотропно распределены по небесной сфере

(рис.1), а излучение имеет сложную зависимость от времени и степенной спектр. Примерно каждый день регистрируется один новый гамма-всплеск, причем с большой степенью достоверности показано, что каждый следующий всплеск приходит из новой области. В настоящее время точность локализации источников жесткого гамма-излучения составляет в среднем около одного градуса на небесной сфере (так называемый «бокс ошибок» источника). Несмотря на непрестанные усилия, в этих «буксах ошибок» до сих пор ни в одном диапазоне электромагнитного спектра не найдено «двойников» гамма-всплесков, т.е. каких-либо объектов, связанных с их источником. Поток излучения за время всплеска S варьируется в широком диапазоне от $S=10^{-3}$ до 10^{-7} эрг/см², а длительность разных всплесков меняется от нескольких до десятков секунд. Один всплеск даже наблюдался в течение почти полутора часов.

Новую волну интереса к проблеме гамма-всплесков вызвал запуск американского специализированного прибора «BATSE» на борту гамма-обсерватории им. Комптона (CGRO) в 1991 г. Фиксируя примерно один гамма-всплеск в день, к лету 1995 г. этот прибор зарегистрировал свыше 1100 всплесков. Как и прежде, их источники оказались крайне изотропно распределены по небу (рис.1). Кроме положения на небесной сфере, можно построить распределение источников по принимаемым потокам гамма-излучения. Интегральная функция распре-

деления источников по потокам (т.е. число источников с потоком выше заданного), которая в научной литературе чаще называется «тест $\log N - \log S$ », несет информацию о пространственном положении источников из исследуемой выборки. Если источники распределены в пространстве равномерно, то, поскольку поток $S \propto r^{-2}$, где r — расстояние до источника, а число источников в объеме, ограниченном сферой радиуса r , $N \propto r^3$, получаем $N \propto S^{-3/2}$, т.е. зависимость $N(S)$ в логарифмических координатах — прямая с наклоном $-3/2$. Однако, как показывает анализ источников из 3-го каталога «BATSE», реальная зависимость отклоняется от прямой, т.е. пространственная плотность для слабых источников значительно отличается от однородной (рис.2). Надо отметить, что подобные отклонения отмечались и в более ранних экспериментах, самый блестящий из которых — советский, выполненный с помощью установки «КОНУС» на борту автоматической межпланетной станции «Венера-11» (установка создана в ЛФТИ им. А.Ф.Иоффе под руководством Е.П.Мазеца). Учет всевозможных эффектов селекции, как правило, делал распределение более однородным. Однако, как утверждают исследователи из группы «BATSE», никакие поправки на эффекты селекции не меняют вывода о неоднородном распределении слабых источников. Другого мнения придерживаются некоторые известные астрофизики, например Г.С.Бисноватый-Коган (ИКИ РАН, Москва). Что эти результаты дают для понимания природы гамма-всплесков?

С самого начала исследования проблемы гамма-всплесков стало ясно: полная изотропия в распределении источников по небу означает, что они должны быть либо очень близко расположены в диске нашей Галактики (хорошие кандидаты — старые замагниченные нейтронные звезды), может быть, даже в ближайших окрестностях солнечной системы (например, кометы из облака Оорта), либо, наоборот, это — очень далекие внегалактические

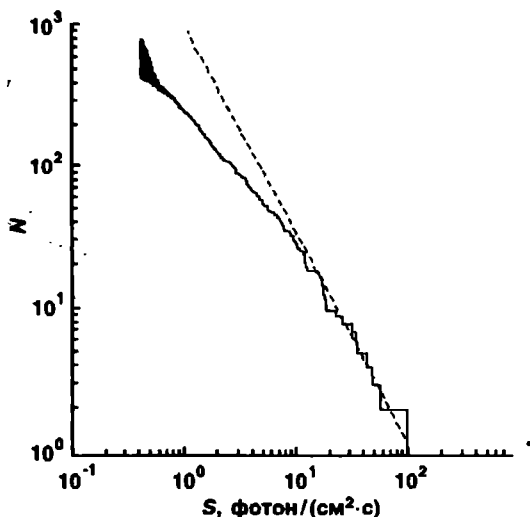


Рис.2. Зависимость числа гамма-источников N с потоком выше данного (S) от S («тест $\log N - \log S$ ») по данным 3-го каталога «BATSE» (май 1995). Заметное отличие от прямой с наклоном $-3/2$ (пунктирная кривая) в области малых потоков либо отвечает неоднородному распределению источников в пространстве, либо свидетельствует о космологической природе источников.

(космологические) объекты. Зная принимаемые потоки гамма-квантов, легко оценить, что в галактической модели (на расстояниях до 100 пк) светимость источников не должна превышать критическую эддингтоновскую, равную 10^{38} эрг/с, и это хорошо ложится в рамки модели старых нейтронных звезд как возможных источников гамма-всплесков. В случае космологической модели, если самые далекие источники находятся на расстояниях порядка хаббловского радиуса Вселенной $\sim 6 \cdot 10^3$ мпк, их светимость должна составлять $\sim 10^{50}$ эрг/с, что превышает светимость любого из известных астрофизических объектов. Сенсационные результаты «BATSE» подтолкнули теоретиков к разработке промежуточной модели. В ней предполагается, что источники (например, старые нейтронные звезды) продуцируют гамма-всплески из протяженного гало нашей Галактики на расстояниях примерно до 400 кпк (но не дальше, иначе

наблюдалась бы анизотропия распределения по небу в направлении соседней к нам галактики М31 в созвездии Андромеды, тоже имеющей протяженное гало). В принципе, в рамках такой модели удастся объяснить и наблюдаемую изотропию, и неоднородное распределение источников в пространстве, однако ряд тонких мест остается и здесь (например, непонятен сам механизм гамма-излучения со светимостью $\sim 10^{41}$ эрг/с).

Остановимся подробнее на космологической модели источников гамма-всплесков. В 1982 г. С.И.Блинниковым (ИТЭФ), И.Д.Новиковым (ИКИ РАН) с коллегами была предложена модель, в которой гамма-всплески связывались с конечными стадиями эволюции двойных нейтронных звезд или черных дыр. Аналогичная модель была независимо предложена и более детально разработана известным американским астрофизиком Богданом Пачиньским в начале 90-х годов.

Как известно со времен Эйнштейна, двойная звездная система непрерывно излучает гравитационные волны на удвоенной частоте орбитального обращения, которые «уносят» энергию и угловой момент, так что звездная пара со временем сближается. Блестящее подтверждение этого предсказания общей теории относительности (ОТО) — результаты 20-летнего наблюдения за изменением периода орбитального обращения в двойном пульсаре PSR 1913+16, подтвердившие теорию с точностью до 0.4%. Дж.Тейлор и Р.Халс удостоены Нобелевской премии по физике 1993 г. за открытие и наблюдения этого пульсара³. Оценки показывают, что двойные нейтронные звезды в нашей Галактике должны сливаться под действием гравитационного излучения с частотой 10^{-4} — 10^{-5} лет⁻¹. При слиянии двух нейтронных звезд выделяется колоссальная энергия $\sim 10^{52}$ эрг, которая уносится в виде гравитационных волн и энергичных нейтрино. Если

только $\sim 1\%$ этой энергии каким-то образом преобразуется в жесткое электромагнитное излучение, слияния двойных нейтронных звезд в далеких галактиках с лихвой обеспечивают требуемую частоту гамма-всплесков, и даже в рамках стандартной космологической модели удастся объяснить характер наблюдаемой кривой $\log N - \log S$ при минимуме остальных предположений. Как было показано автором с коллегами из Астрономического института им. Штернберга (ГАИШ МГУ), если верна космологическая модель источников гамма-всплесков, эффекты звездной эволюции приводят к тому, что частота слияния двойных нейтронных звезд в первый миллиард лет после образования галактик должна быть по крайней мере на порядок выше современной (примерно одно событие за 10—20 тыс. лет), что приводит к появлению характерного загиба вверх кривой $\log N - \log S$ в области малых потоков. Это предсказание модели можно проверить в будущем детекторами гамма-излучения, чувствительность которых в 3—10 раз выше современной.

Безотносительно к конкретной природе самого гамма-излучения, если действительно самые слабые гамма-всплески порождаются источниками, находящимися на расстояниях порядка хаббловского радиуса (что следует из объяснения кривой «BATSE» в рамках стандартной космологической модели), светимость во время вспышки должна быть порядка $6 \cdot 10^{50}$ эрг/с, а полное энергосодержание — 10^{52} эрг. Каковы же могут быть биологические последствия такой вспышки, если она произойдет в нашей Галактике?

На этот вопрос отвечает Стив Торрент из Принстонского университета (Нью-Джерси)⁴. Поток гамма-квантов на Земле за время такой вспышки в центре нашей Галактики составит примерно 10^6 эрг/см² и будет остановлен в нижнем слое стратосферы на высотах 20—30 км из-за комптоновского

³ См.: Успехи физ. наук. 1994. Т.164. № 7. С.757.

⁴ Torsett S. // Astrophys. J. Lett. 1995. V.444. P.L53.

рассеяния. Результатом будет ионизация молекулярного азота N_2 с образованием $3 \cdot 10^{34}$ молекул окиси азота NO и «нечетно-азотистых» молекул NO_x . Как известно, именно эти молекулы отвечают за $\sim 45\%$ уменьшения слоя современного озона в стратосфере, который служит «щитом» от ультрафиолетового излучения Солнца с длиной волны короче 3100 Å. Такое количество молекул NO_x сравнимо с их естественным годовым образованием и составляет треть от их полного атмосферного содержания. Их выброс в стратосферу приведет к пятипроцентному уменьшению эквивалентной толщины озонового слоя, равной, как указывалось, 3 мм при нормальных условиях. Это уменьшение сравнимо с истончением озонового слоя вследствие извержения вулкана Пинатубо или самой сильной солнечной вспышки и лишь немного меньше его предполагаемого разрушения из-за падения Тунгусского метеорита.

Как верно отмечает Торсетт, такие события вполне могли бы происходить и гораздо ближе к Земле, скажем, на расстоянии ~ 0.5 клк с частотой примерно раз в 100 млн. лет. В таком случае поток гамма-излучения на Земле составил бы $\sim 3 \cdot 10^8$ эрг/см², соответствующий взрыву 10 000 мегатонн тротилового эквивалента (ТНТ), примерно равному всему мировому ядерному арсеналу. Для сравнения: полная химическая энергия озонового слоя эквивалентна 300 мегатоннам ТНТ. Этот гамма-всплеск полностью разрушил бы озоновый слой на многие годы, и экологические последствия его были бы катастрофическими. Кроме разрушения озонового слоя, увеличение молекул NO_x ведет, через образование HNO_3 , к повышению кислотности водоемов: по оценкам близкий гамма-всплеск производит примерно 10^7 тонн молекул азота, что сравнимо с полугодовым антропогенным его производством. Кроме того, повышенное содержание двуокиси азота в атмосфере может сильно

увеличить коэффициент поглощения видимого света в области 4000 Å, из-за чего может возникнуть температурный дисбаланс и охлаждение поверхности планеты.

Наконец, близкий гамма-всплеск приведет к увеличению естественного радиоактивного фона, так как при взаимодействии квантов высокой и сверхвысокой энергии (до 26 ГэВ) с атомами атмосферы могут образовываться радиоактивные нуклиды (например, ^{14}C , ^{10}Be). Так, всплеск на расстоянии ближе 1 клк образует за 10 с столько же атомов ^{14}C , сколько естественный фон космических лучей за 1000 лет. В принципе, анализируя радиоактивность метеоритов и лунного грунта, можно попытаться найти следы резкого увеличения потока космических лучей за последние 10—15 млн. лет. Не связано ли с этими событиями и то, что, по современным палеобиологическим данным, примерно раз в 10^8 лет происходило массовое вымирание видов?

В настоящее время ведутся жаркие дискуссии о природе гамма-всплесков, и ни приверженцы галактических, ни адепты космологических моделей не одерживают в них победу. 22 апреля 1995 г. в Музее естественной истории в Вашингтоне, округ Колумбия, были устроены даже публичные дебаты по этой проблеме⁵. Эксперимент «BATSE» продолжается, готовятся новые космические эксперименты, и хочется надеяться, что природа этих странных событий выяснится в ближайшем будущем. Подтверждение природы гамма-всплесков как сигналов от сливающихся нейтронных звезд можно будет получить с вводом в действие эксперимента LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) по детектированию гравитационных волн. Это будет, несомненно, одним из выдающихся открытий астрофизики конца XX в. Пополнят ли гамма-всплески список потенциальных угроз для жизни на нашей планете?

⁵ См.: Nature. 1995. V.375. P.282.

Палеосейсмические явления в районе оз. Кезеной-Ам

М. Н. Смирнова,

доктор геолого-минералогических наук

Институт проблем нефти и газа РАН,
Москва

СЕГОДНЯ оз. Кезеной-Ам, расположенное в горной Чечне, на южном склоне Андийского хребта (высота 1870 м), практически недоступно из-за трагических событий, случившихся на этой земле. А несколько лет назад мне приходилось здесь бывать довольно часто — со студентами Грозненского нефтяного института на геологических экскурсиях, а также во время собственных исследований, относящихся к сейсмическому районированию территории.

Озеро необычайно кра-

сиво в любое время года: лазурное — летом, спокойное, как бы притихшее, — осенью, когда в нем как в чистом зеркале отражаются окружающие скалы, застывшее — зимой. В плане «трехлопастное» оз. Кезеной-Ам тянется с запада на восток 2,7 км, с севера на юг — 2 км, наибольшая ширина — 735 м, глубина — 37—72 м. В озеро впадают две реки: Харсума и Кауха. Когда-то ниже места их слияния реки были перерогорожены естественной плотинной высотой 100 м, образовавшейся за счет оползня, спустившегося с хребта Кашкер-Лам. Следы обвала сохранились в рельефе в виде отвесного обрыва. Что

же могло быть причиной обвала, а следовательно, и возникновения озера?

Существует легенда о том, что некогда на месте озера располагался большой аул Кезеной, жители которого позабыли Бога и обычаи, завещанные предками. Посланный с неба ангел в виде странника обошел все сабли, прося приюта и пищи. Кезеновцы не только не приняли его, но чуть было не затравили собаками. И только бедная вдова обрадовалась гостю, чем могла накормила и уложила отдохнуть. Под

© Смирнова М.Н. Палеосейсмические явления в районе оз. Кезеной-Ам.

*Озеро Кезеной-Ам.
Здесь и далее фото
В.М.Бражника*

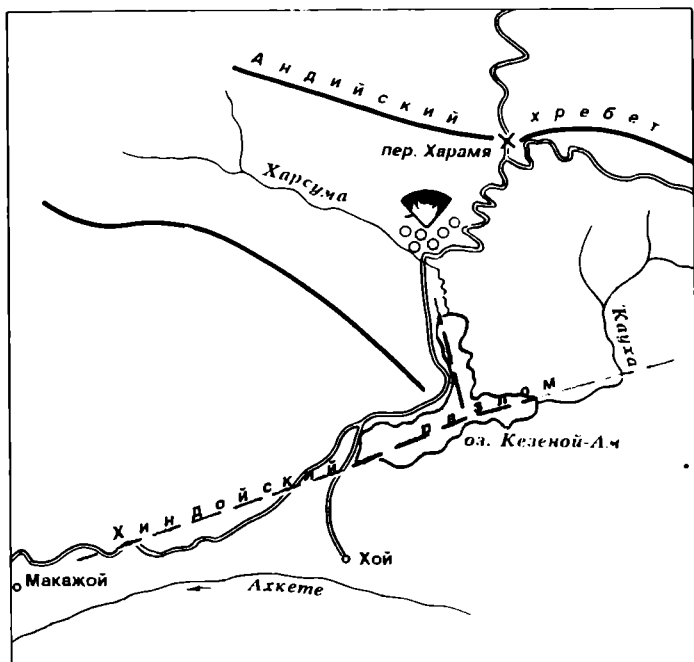


утро странник открыл ей, что он не простой человек, а ангел, посланный испытать кезеноевцев; поскольку жители аула — народ злой и испорченный, Бог накажет их: земля на месте аула развернется и поглотит селение со всеми жителями, а на его месте возникнет глубокое озеро. Вдове же ангел посоветовал собрать свое имущество и переселиться на ближайшую гору¹.

Аул Кезеной, тот самый, которому по легенде положила начало гостеприимная вдова, приютился на утесе г. Кашкер-Лам. В 1885 г. в нем было 7 дворов, а в настоящее время едва заметны развалины жилищ. Легенда же о каре Божьей передавалась из поколения в поколение (в начале века эта кара усматривалась в том, что население в окрестных аулах не увеличивалось, а вымирало).

Действительно, вполне вероятно, что большое село могло исчезнуть с лица земли, но по причинам вполне естественным и скорее всего из-за сильного землетрясения. Доказательств высокой сейсмичности местности достаточно много.

Оз. Кезеной-Ам расположено в зоне Хиндояского глубинного разлома. На многих участках он прослеживается в виде брекчированной зоны. Отличительная особенность разлома — приуроченность к нему больших и малых озер: Безеной-Ам, Кезеной-Ам, Ишхой-Лам, Алтаусского. С разломом, проникающим, по геофизическим данным, на глубину до 50 км, связана длинная основная «лопасть» оз. Кезеной-Ам и



- Хребты
- Клин обрушения
- Разломы
- Дороги

Схема расположения оз. Кезеной-Ам.

затопленное русло р. Каухи. «Оперяющие» разлом трещины прослеживаются в южной части озера. С северо-запада к разлому приключается еще один, заполненный водами р. Харсумы и образующий третью «лопасть» озера.

Вблизи озера, между перевалом Харамя и с. Ботлих, обнаружена существенная сейсмичность. Землетрясения здесь происходили в 1805 г. ($M=4.8$, $I=6$ баллов), в 1953-м ($M=3.5$), 1965-м ($M=4.4$, глубина очага 20 км, $I=5$ баллов), в 1966-м ($M=4$)².

На северном склоне

котловины, в верхнемеловых известняках, на площади 0.7 км² имеются явные следы палеосейсмических дислокаций — так называемый клин обрушения. Это образование сочетает элементы тектонического опускания и обвала. Его местоположение связано с клиновидным блоком, зажатым между двумя разломами. Структура образовалась в наиболее высокой части Андийского хребта, вблизи перевала Харамя. В результате сейсмического удара и разнонаправленных движений громадный клин, расколотый на отдельные блоки, опустился, выдавив перед своим фронтом куполовидную структуру.

Стенка срыва и куполовидная структура одновременно подверглись сильнейшему дроблению, образовав каменный хаос. В результате здесь возник ступенчатобугристый рельеф с воронками и продольными валами

лог сильных землетрясений на территории СССР. М., 1977. С.69—170.

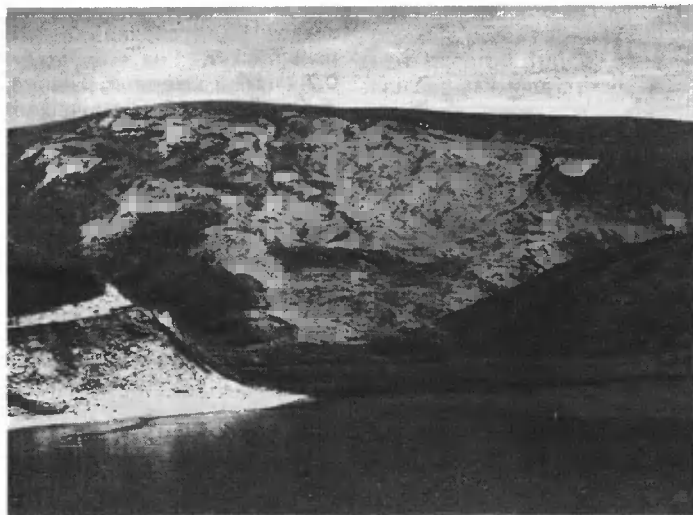
¹ Несколько слов по истории края // Терский сборник. Литературно-научное приложение к Терскому календарю 1911 г. Владикавказ, 1910. С.1—30.

² Атлас землетрясений в СССР. М., 1962. С.48—92; Новый ката-



Стенки срыва.

Кезенойская гравитационно-сейсмоструктурная структура.



верхнемеловых пород. К югу от фронтальной куполовидной структуры расположено до 10 насыпных конусов высотой 1—1,5 м, сложенных мелким щебнистым грунтом с глыбами известняков. Такие конусы обычно свидетельствуют о вертикальном ударе, что подтверждает высокую сейсмичность территории.

Сеть трещин в «клине

обрушения» неоднократно обновлялась и особенно активно — во время Дагестанского землетрясения 1830 г. ($M=6.9$, $I=9$ баллов); трещины стали путями миграции флюидов.

Клин обрушения обычно принимали за каровую нишу небольшого фирнового ледника, а насыпные конусы — за конечную морену. Однако на такой не-

большой высоте ледники на Кавказе неизвестны. Кроме того, в пользу палеосейсмической дислокации свидетельствует и состав обвальной массы. Если обычно горные породы раскалываются по естественным плоскостям напластования, то при сейсмогенных обвалах это происходит независимо от них. Верхнемеловые известняки здесь раздроблены на крупные и мелкие глыбы так, как будто их раскололи при высоком давлении. Высокая твердость (135—189 кг/мм), насыщенность карбонатами (86—95%) и высокая плотность известняков при низкой пластичности обусловили мелкое дробление при сейсмическом ударе. Этому способствовало уменьшение коэффициента сжимаемости известняков при увеличении нагрузки на породу.

Кезенойская гравитационно - сейсмоструктурная структура имеет много общего с аналогичными образованиями: структурой Битут, возникшей в Монголии при Гоби-Алтайском землетрясении, структурами Шартлай и Рита в Байкальской складчатой области и др.³

Сейсмогравитационные дислокации широко развиты на южных склонах Андийского хребта по отрогам г. Азал между с. Анди и с. Ботлих, где наблюдается потрясающая картина грандиозного разрушения. Ее ярко рисует путешественник К.Н.Россигов: «Справа высоко вздымается полуразвалившаяся конусообразная вершина с глубокими трещинами, нависшими скалами и массивными глыбами, разбитыми на бесконечное

³ Гоби-Алтайское землетрясение. М., 1963. С.310—318; Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья. М., 1966. С.15—36.



Глыбы верхнемеловых известняков.

число безобразно торчащих осколков и камней, угрожающих падением; слева опять пропасти и балки, погребенные под обломками горных пород».⁴

Описанные сейсмодислокации образуются в зонах современных землетрясений интенсивностью 8—9 баллов и выше. Дату землетрясения, вызвавшего образование озера, установить трудно, однако имеются косвенные свидетельства, что оно произошло относительно недавно. Так в 1885 г. Россикову в сетях вместе с

рыбой часто попадались обломки сосновых деревьев, которые еще не успели разрушиться (в настоящее время сосны вокруг оз. Кезеной-Ам не растут). Об этом же свидетельствует «свежесть» глыб, насыпных конусов и прочих сейсмогравитационных признаков. Молодость запрудных озер известна. Относительно недавно образовались оз. Сарезское на Памире, оз. Рица на Кавказе. Скорее всего оз. Кезеной-Ам возникло во время Дидо-Андийского землетрясения 1742 г., когда произошли сильные разрушения на южном склоне Большого Кавказа и, по свидетельству очевидцев, «горные вершины во многих местах опрокинулись и похоронили под собой множество горцев». Некоторым подтверждением этому яв-

ляются данные военного топографа К.И.Подозерского⁵. В водораздельной части Чечни на северном и северо-западном склонах г. Диклос-Мта в 1885—1890 гг. он наблюдал под слоем морен 3—4-саженный слой лавинных осадков. Такая огромная толща могла возникнуть только в результате сильного землетрясения.

Согласно существующим картам сейсмического районирования, район оз. Кезеной-Ам относится к 7-балльной зоне. Учитывая наличие феноменальной гравитационной структуры, имеются серьезные основания, чтобы отнести территории к 9-балльной зоне.

⁴ Россиков К.Н. Путешествие по центральной части горной Чечни. Записки Кавказского отд. ИРГО. Кн. XVII. Тифлис, 1895. С.139—228.

⁵ Подозерский К.И. Ледники Кавказского хребта. Записки Кавказского отд. ИРГО. Кн. XXIX. Вып.1. Тифлис, 1911. С.199.

Первая дрейфующая научная станция в Антарктике

И. А. Мельников,

доктор биологических наук

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН
Москва

В ФЕВРАЛЕ — ИЮНЕ 1992 г. в западной части моря Уэдделла работала российско-американская экспедиция. Основной ее целью было исследование физико-океанографических, метеорологических, биологических процессов и взаимодействий в системе вода—лед—атмо-

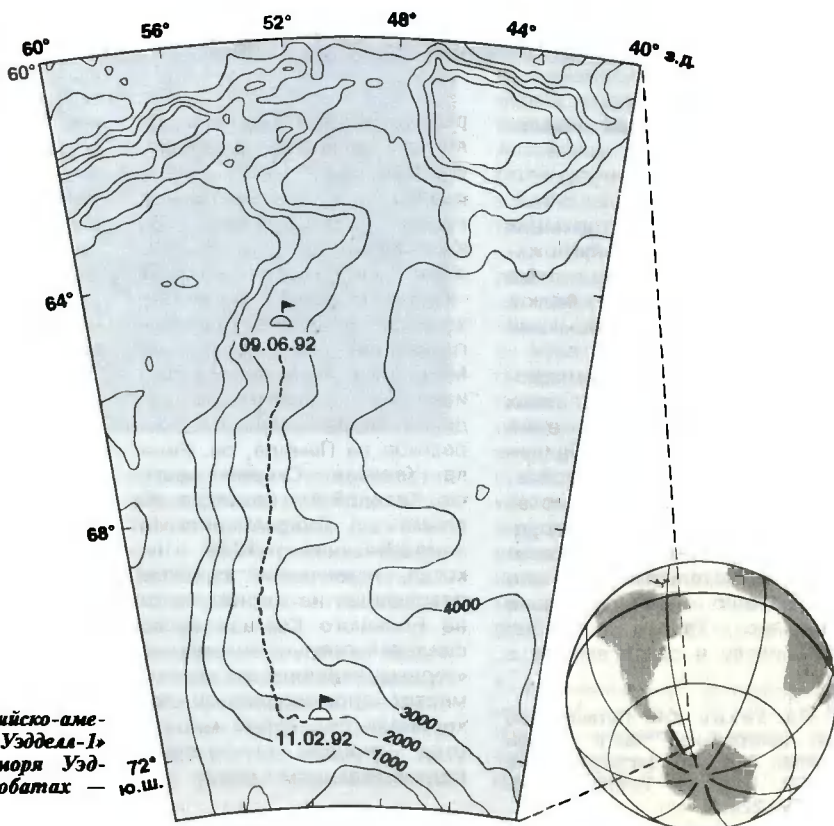
сфера в этом достаточно слабо изученном районе Антарктики¹. Экспедиция была организована с одной стороны — совместными усилиями нескольких университетов США, поддержанных Национальным научным фондом страны, а с нашей — Госкомгидрометом и Академией наук, при фи-

нансовой помощи Государственного комитета по науке и технике бывшего СССР. Отличительная черта экспедиции заключалась в том, что она работала не с исследовательского судна, а на морском льду. Это была первая в истории изучения Антарктики дрейфующая научная станция.

Открыта станция «Уэдделл-1» была 11 февраля 1992 г. на 71°48' ю.ш., 51°43' з.д. (глубина моря в

© Мельников И.А. Первая дрейфующая научная станция в Антарктике.

¹ Gordon A.L., Lukin V.V. // Antarct. J.U.S. 1992. V.27. P.97—99.



Дрейф ледовой российско-американской станции «Уэдделл-1» в западной части моря Уэдделла (цифры на изобатах — ю.ш.).

этом районе 1965 м). Четыре месяца мы дрейфовали вдоль материкового склона строго на север (генеральное направление определялось ветровой составляющей в соответствии с динамикой Экмана). Средняя скорость дрейфа достигала 6.6 км/сут; максимальная (25 км/сут) была зафиксирована 24 мая, а минимальная (0.5 км/сут) — 27 февраля. За все время экспедиции лишь в феврале отмечался непродолжительный теплый период, в остальное время (март—июнь) ежедневно стояла холодная погода со средней температурой около -20°C (минимальная температура зарегистрирована на отметке -35°C). Продрейфовав 750 км, станция «Уэдделл-1» достигла $65^{\circ}38'$ ю.ш., $52^{\circ}25'$ з.д. и была закрыта 9 июня 1992 г. В организации и эвакуации станции принимали участие ледоколы «Академик Федоров» (Россия) и «Nathaniel B. Palmer» (США), а кроме того по два вертолета с каждой стороны.

Научная программа экспедиции, неоднократно обсуждавшаяся на предварительных совещаниях обеих сторон, была скомпонована в четыре основных блока: океанография, морской лед, атмосфера и биология. Общая идея, связывающая все блоки программы, состояла в том, чтобы на основе полученных материалов достигнуть прогресса в понимании сезонной и межгодовой изменчивости океанологических процессов в зоне морских антарктических льдов, а также их влияния на глобальные процессы в атмосфере и Мировом океане. Каковы вкратце основные результаты проведенных исследований?

Океанография. Процессы формирования дон-

ных вод на шельфе западной части моря Уэдделла изучались с использованием изотопных трассеров. Выяснилось, что образующийся в этом районе слой донных вод (толщиной 300 м) отличается высоким содержанием кислорода и представляет собой двухслойную систему, в которой слой с низкой соленостью находится над слоем с более высокой соленостью. Эта сложная структура разрушается около 65° ю.ш. вследствие вертикального перемешивания и дальнейшего продвижения с континентального склона в глубину океана. Сформировавшиеся в конечном счете донные воды, вышедшие за пределы западной части круговорота Уэдделла, представляют собой смесь вод с низкой и высокой соленостью. В целом они вносят значительный вклад в общий баланс формирования донных антарктических вод.

Метеорология. Здесь для специалистов представляла интерес структура атмосферного пограничного слоя. Исследуя природу турбулентного переноса вблизи поверхности ледового покрова и обработав данные измерений непрерывных энергетических потоков, составляющих радиационный баланс на ледовой поверхности, они установили, что в районе с высокой концентрацией паковых льдов открытый океан оказывает сильное влияние на метеоусловия поверхностного слоя. Так, отмечено, что в конце апреля северный ветер, принесший в район дрейфа станции теплый морской воздух, вызвал резкое повышение температуры снежно-ледяного покрова (до -3°C), что в свою очередь отразилось на динамике физико-химических

процессов взаимодействия льда и контактирующего с ним водного слоя.

Морской лед. На основе морфометрических наблюдений верхней и нижней поверхностей льдины, на которой располагался лагерь станции, было установлено, что вся она состоит из отдельных однолетних льдин, небольших по размеру: 8–10 м в длину при толщине около 1.8 м. Средняя соленость однолетнего и молодого растущего льда была соответственно 3‰ и 15‰. Процесс образования нового льда в западной части круговорота моря Уэдделла проходит так же, как в центральной и восточной его частях, хотя особенности формирования снежно-ледового покрова в этих районах сильно различаются.

Биология. Здесь я позволю себе остановиться несколько подробнее. Основная цель биологических наблюдений состояла в том, чтобы определить характер влияния морского льда на продуктивность и структуру экосистемы пелагиали западной части моря Уэдделла, поверхность которого круглый год занята сплошным ледовым покровом. В задачу российской части программы входило изучение состава и структуры экосистемы морского льда, американской части — исследование ее функциональных характеристик.

На основании полигонных наблюдений за развитием ледовых сообществ мы установили, что ледовые микроорганизмы сохраняют физиологическую активность во всей толще льда, включая его верхние горизонты, контактирующие со снежной поверхностью. Концентрация хлорофилла «а» во льду в сотни раз превышает концентрации в водном столбе,

и, напротив, концентрации минеральных компонентов (фосфора и кремния) в воде в сотни раз выше, чем во льду. Создание высокой биомассы ледовых водорослей при низкой концентрации питательных веществ возможно только при постоянном подводе биогенов из воды в лед для осуществления фотосинтеза. Эксперименты *in situ* с формирующимися молодыми льдами, в которых хорошо развита система капилляров и каналов стока, позволили описать механизм такого обмена жидкой фазой между льдом и водой².

Различия в концентрации пигментов (хлорофилла и феофитина) в 10-сантиметровых секциях ледовых кернов, характеризующих распределение биомассы ледовых водорослей по тол-

щине льда, показали значительную изменчивость как в пределах вертикальной структуры льда, так и в пространственно-временных масштабах. Наблюдавшиеся изменения концентрации пигментов были четко связаны с вариациями в содержании минеральных компонентов (фосфора и кремния), а также с изменениями факторов среды, в первую очередь света и температуры. Разное физиологическое состояние ледовых микросообществ, определенное с помощью радиоизотопной техники, позволяет предполагать высокую метаболическую активность диатомовых водорослей при низкой температуре и ограниченной освещенности³.

Подледные наблюдения за распределением и пове-

дением основных компонентов криопелагических сообществ — криля, молоди рыб и некоторых беспозвоночных — дают основание считать, что топография и морфологические особенности рельефа подледной поверхности, а также подледные течения являются основными факторами в регулировании питания, поведения и распределения животных, биотопически связанных со льдом. Установлено также, что в зимний период (по крайней мере в этом районе Южного океана) морской лед используется в качестве биологического субстрата, главным образом молодью рыб, криля и других беспозвоночных, а тонкий слой воды, контактирующий с нижней поверхностью льда, представляет собой ключевую биотоп экосистемы морской Антарктики, где биота и среда взаимодействуют в едином биогеохимическом цикле.

² Melnikov I.A. // J. Geophys. Res. 1995. V.100(C3). P. 4673—4680.

³ Sullivan C.W. et al. // Eos Trans. AGU. 1992. V.73. № 43. P.300.

НОВОСТИ НАУКИ

Биогеохимия

Морские аэрозоли Арктики

Одним из слабо изученных звеньев арктической экосистемы являются морские аэрозоли. В американском, канадском, норвежском, датском секторах Арктики специалисты активно исследуют аэрозоли более 30 лет. На о.Врангеля и на арх. Северная Земля состав аэрозолей в свое время изучали А.А.Виноградова (Институт физики атмосфе-

ры РАН) и группа сотрудников во главе с Ф.Я.Ровинским (Институт глобального климата и экологии Госкомгидромета и РАН). С 1991 г. исследованием морских аэрозолей в российском секторе Арктики занимаются сотрудники Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН совместно с коллегами из других институтов под общим руководством А.П.Лисицына.

Изучен состав проб, отобранных в полярных морях Северного полушария с разных судов (российско-французская экспедиция «SPASIBA-91» на НИС «Яков

Смирницкий», август—сентябрь 1991 г.; 49-й рейс НИС «Дмитрий Менделеев»¹, август—октябрь 1993 г.; 9-й рейс НИС «Профессор Логачев»², август—октябрь 1994 г.).

Вещественный состав сетевых проб аэрозолей, изученный методом сканирующей электронной микро-

¹ Подробнее о рейсе см.: Лисицын А.П., Виноградов М.Е. Экспедиция в Карское море // Природа. 1994. № 10. С.32—43.

² Иванов Г.И., Шевченко В.П., Нещеретов А.В. Рейс в желоб святой Анны // Природа. 1995. № 10. С.56—61.

Средние концентрации химических элементов (нг/м³) в атмосфере над Карским морем в сентябре 1993 г. в сравнении с литературными данными по другим районам

Район	Na	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	Se	Sb
Карское море (Shevchenko et al., 1995)	24.9	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$4.4 \cdot 10^{-2}$	2.81	$4.1 \cdot 10^{-3}$	1.58	$4.9 \cdot 10^{-2}$	$3.2 \cdot 10^{-3}$
Антарктида (Maenhaut et al., 1979)	3.3	$1.6 \cdot 10^{-4}$	0.04	0.62	$4.9 \cdot 10^{-4}$	$3.3 \cdot 10^{-2}$	$6.2 \cdot 10^{-3}$	$8.4 \cdot 10^{-4}$
Черное море (Hacisalioglu et al., 1992)	$1.4 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^{-2}$	9.0	420.0	0.25	46.0	0.73	0.6
Северное море (Chester and Bradshaw, 1991)	—	—	3.1	231.0	0.19	26.0	—	—
Шпицберген, лето (Maenhaut et al., 1989)	66	$1.2 \cdot 10^{-3}$	0.56	5.6	$4 \cdot 10^{-3}$	0.15	$3.5 \cdot 10^{-2}$	$2.4 \cdot 10^{-3}$
о. Врангеля, весна (Виноградова и др., 1993)	240	$2.2 \cdot 10^{-2}$	7.7	88.0	0.05	12.0	—	0.11

скопии³, свидетельствует о том, что основной компонент крупной неводорастворимой фракции — это терригенные минеральные частицы размером 1—10 мкм (отдельные до 25 мкм), представленные зернами кварца, полевых шпатов, глинистых минералов; их источник — расположенная вблизи суша. В составе крупных фракций присутствуют растительные волокна и споры сухопутной растительности. В отдельных случаях встречаются диатомеи. В большинстве проб отмечены пористые и гладкие шарики размером 1—10 мкм (отдельные до 20 мкм), которые представляют собой пепловые частицы («летучий пепел»). Образуются они в результате высокотемпературного горения; обогащены рядом металлов. В сентябре 1993 г. наиболее высокие концентрации пепловых частиц

(более 50%) были обнаружены в пробе, взятой в Енисейском заливе. Эта проба выделяется также своим аномальным химическим составом; она была отобрана при господствующем переносе воздушных масс через район Норильска.

Одновременно с отбором сетевых проб проводилась фильтрация воздуха, что позволило получить не только крупную фракцию аэрозолей, но и более мелкие частицы (от десятых долей микрона), при этом на фильтре накапливалась и морская соль. Содержание различных элементов в аэрозолях, собранных сетевым методом и фильтрацией, определялось с помощью нейтронно-активационного анализа, а затем рассчитывались концентрации этих элементов в воздухе.

Из приведенной таблицы видно, что концентрации элементов в осенней Арктике — одного порядка с летним периодом или ниже, но в то же время на один-два порядка ниже, чем в конце зимы — начале

весны. Более того, концентрации элементов в воздухе над Карским и Баренцевым морями оказались на два-три порядка ниже, чем над Северным, Черным и Средиземным морями, находящимися под влиянием мощного индустриального «пресса».

Таким образом, мы можем считать воздух в рассматриваемом районе Арктики относительно чистым.

© В.П.Шевченко
Москва

Охрана природы

Пережив динозавров, латимерия исчезает теперь

С середины 1980-х годов группа сотрудников Института физиологии поведения им. Макса Планка (Зеевизен, Германия) ведет под руководством зоолога Х.Фрике (H.Fricke) наблюдения за популяцией латимерии (*Latimeria chalumnae*) — редчайшей кистеперой рыбы, сохранившейся без изменений с конца мезо-

³ Shevchenko V.P., Lislitzin A.P., Kuptzov V.M. et al. Composition of aerosols over the Laptev, Kara, Barents, Greenland and Norwegian seas // *Berichte zur Polarforschung*, 1995. № 176. P.7—16.

зойской эры. Это «живое ископаемое» было случайно обнаружено у берегов Южной Африки в 1938 г., а прежде было известно лишь по ископаемым остаткам¹. Ныне латимерия встречается только в водах северной части Мозамбикского пролива между Мадагаскаром и Африкой, да и то в основном у о. Гранд-Комор. Живут эти рыбы на глубинах больше 100—150 м.

Согласно регулярно проводившимся «переписям», численность латимерии оставалась примерно постоянной в 1989-1991 гг., но затем стала убывать: если прежде на одну подводную пещеру, где они обитают днем, приходилось в среднем 20,5 рыб, то к 1994 г. — лишь 6,5. Фрике полагает, что наиболее вероятной причиной убыли служат не естественные колебания численности, а случайная незаконная ловля этого строгойше охраняемого вида.

Использование подводного аппарата «Яго» позволяет вести исследования на глубинах до 200 м. Латимерия — крупная рыба, длиной до 1,5 м. Расположение и очертание пятен на ее коже носит индивидуальный характер, так что ученые могут опознать каждую особь. Ведет латимерия ночной образ жизни, опус-

каясь на глубины до 700 м и больше, но с наступлением дня возвращается в подводные пещеры на небольшой глубине.

Общая численность латимерии у о. Гранд-Комор — около 200 экз., и хотя не исключена возможность пребывания небольшого их числа еще и в водах ЮАР, все равно их слишком мало, а площадь ареала столь невелика, что приходится говорить об угрозе выживанию этого интереснейшего и древнейшего вида.

Так как латимерия малосъедобна, местные жители ее почти не ловили, хотя других рыб — в пищу и на жир для освещения — ловят очень активно, в том числе и на глубинах, где живет латимерия. Рыбачат коморцы на гребных каноэ, на которых далеко от берега не отплывешь. Чтобы спасти латимерию, международные организации купили рыбакам подвесные моторы и установили буи с приманками подальше от берега, над слишком большими для латимерии глубинами. Но к 1994 г. моторы поломались, купить новые было не на что, рыбаки вновь вернулись в прибрежные воды, и латимерии опять стали попадаться на крючки.

Со дня открытия латимерии в руки ученых попало около 200 живых рыб. Но в неволе они выживают не

более нескольких часов: во-первых, они обычно бывают изранены рыболовным крючком; во-вторых, рыбаки, опасаясь мощных и крупных животных, нередко бьют их веслом, нанося серьезные повреждения; наконец, латимерия с трудом переносит резкое снижение давления при вытаскивании на поверхность. Рыбаки знают о запрете на лов латимерий, поэтому на берег их не доставляют, а выбрасывают в море или рубят на куски и используют как наживку.

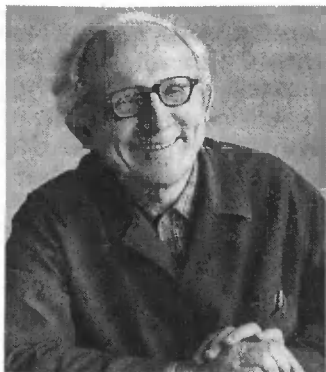
Фрике и его коллеги предложили перенести буи с наживками для рыб поближе к берегу, на доступное для гребных лодок расстояние, но установить их на малой глубине, намного выше зоны обитания латимерии. Новый источник дохода могут дать рыбакам и туристы: в одной из рыбацких деревень организован информационный центр, а перед устьем одной из пещер, где днем укрываются латимерии, установлена телекамера. Интерес к проекту Фрике проявил Всемирный банк. Можно надеяться, что с помощью международных финансовых спонсоров удастся спасти животное, которое было современником динозавров и чудом сохранилось до наших дней.

Nature. 1995. V.374. № 6520. P.314 (Великобритания).

¹ См. также: Несис К.Н. Как плавают латимерия // Природа. 1988. № 7. С. 112—113.

Многообразие живого мира Земли и проблемы его сохранения

А.К.Скворцов



Алексей Константинович Скворцов, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Главного ботанического сада РАН. Основные научные труды посвящены систематике и микроэволюции растений, а также общим вопросам эволюционной теории. Член редколлегии журнала «Природа»!

В КОМПЛЕКСЕ задач, связанных с охраной среды обитания человека, особое место занимает сохранение многообразия проявлений жизни, или, как теперь часто говорят, биоразнообразия (biodiversity¹). Эта проблема, сформулированная впервые достаточно остро в 50—60-х годах нашего столетия, продолжает привлекать к себе все большее внимание, так как антропогенный пресс на природу, включая и прямое уничтожение природных экосистем, постоянно растет. В большинстве стран приняты различные законодательные акты об охране редких видов, которым угрожает полное исчезновение, изданы Красные книги. Подписан и ряд международных соглашений, а в 1992 г. конференция Объединенных наций в Рио-де-Жанейро приняла всемирную «Конвенцию о биологическом разнообразии» («United Nations Convention on biological diversity»). Цель этого документа — сохранить максимально возможное биологическое разнообразие на Земле. Государства, подписавшие конвенцию, обязаны обеспечить такое сохранение на своих территориях.

Представлялось, что конференция в Рио и подписанная Конвенция станут кульминационным моментом и поворотным пунктом в борьбе за сохранение биологического разнообразия. Но уже почти сразу после конференции начали раздаваться разочарованные голоса. Конвенция скорее отразила благие намерения, чем ощутимую и обязывающую реальность. Значит, справлять «новый политический год» на поприще охраны живой природы — пока рано. Нужны еще и еще усилия; необходимо внимательно рассмотреть

© Скворцов А.К. Многообразие живого мира Земли и проблемы его сохранения.

¹ Русский термин — калька с английского, притом гибридный, трехчленный и в русской речи звучит неуклюже, но уже вошел в обиход. Да и сказать «биодиверситет» или «жизнеразнообразие» было бы не лучше.

все причины и обстоятельства, связанные с проблемой и влияющие на ее решение. Прежде всего это, конечно, различные политические и экономические контрверсы. Но они, как говорится, «лежат на поверхности», да и наш журнал — не самое подходящее место для их обсуждения. Поэтому мы их оставим в стороне. Но есть и немало обстоятельств, лежащих глубже, но не менее действенных, — и в науке, и в культурно-историческом наследии современного человека, и в свойственной ему психологии, и в мировоззрении. В предлагаемой статье попытаемся вкратце рассмотреть некоторые из этих обстоятельств.

I

В самых общих чертах сегодня проблему биоразнообразия можно представить следующим образом. Биологам — систематикам и экологам — удалось вызвать широкое сочувствие и симпатию к охране редких видов животных и растений, которым угрожало скорое полное исчезновение; в результате в 60—70-х годах появились Красные книги, различные списки редких и подлежащих охране видов, а также некоторые законодательные акты и международные соглашения (например, о запрете торговли редкими видами и т.п.). Однако пропаганда охраны редких видов велась в основном на очень ярких примерах, таких как киты, тигры, черепахи, крупные бабочки, а из растений — лилии, пионы, секвойи, дикие родичи хлебных злаков и т.п. Соответственно, и в Красные книги попали преимущественно «знаменитости». Значительно шире и «демократичнее» оказались региональные списки редких и нуждающихся в охране видов. В странах умеренного климата Северного полушария редкие и заслуживающие охраны виды растений составляют (по разным регионам и разным оценкам) от 6 до 20% всей флоры соответствующего региона. Между тем в Красную книгу бывшего СССР включено только 600 видов, т.е. около 3% всей флоры.

Конечно, ни списки подлежащих охране видов, ни даже Красные книги сами по себе не создают гарантии

сохранности, хотя их появление — все же бесспорный шаг вперед. Однако дальнейшее расширение проблемы — постановка задачи сохранения по возможности всего многообразия жизни на Земле — еще не вызывает такого широкого сочувствия; еще нет всеобщей уверенности в фундаментальной, жизненной важности этой задачи. Если задать вопрос: что вы считаете самым большим богатством нашей планеты? — то биологи (да и то, наверно, не все) ответят: конечно, это многообразие проявлений жизни. Но услышать такой ответ от любого встречного на улице или от административного деятеля — шансов немного.

Каковы же реальные масштабы разнообразия жизни на Земле и как их измерить? Наиболее адекватно отражает биологическое многообразие систематика; ее прямо можно назвать наукой о разнообразии живых существ. Следовательно, если пытаться количественно оценить разнообразие, то самыми подходящими «счетными единицами» будут систематические группы (таксоны) и прежде всего виды. Хотя в разных группах виды по многим показателям могут быть весьма неравнозначны (особенно велико различие между видами у прокариот и у эукариот), тем не менее, пожалуй, только вид можно принять в качестве универсальной счетной единицы, приложимой как ко всей биоте, так и к отдельным ее территориальным или таксономическим выделам.

Для оценки своеобразия региональных флор и фаун полезно также использовать подсчет высших таксонов (родов, семейств, классов), а равно и отдельный подсчет эндемичных (т.е. присущих только данному региону) таксонов всех рангов. Внутреннее разнообразие самых узких выделов, таких как популяция, вид или группа близко родственных видов (особенно культурных), можно оценивать и на генетической основе, опираясь либо на фенетические проявления генов, либо на структуру геномов, либо, наконец, на молекулярные структуры ДНК и РНК. Но применительно к

крупным фрагментам биоты генетический подход хотя и мыслим, однако вряд ли способен (по крайней мере в настоящее время) дать удовлетворительные результаты.

Многочисленно пытались оценивать биоразнообразие не с таксономических и генетических позиций, а с экологических, или, как говорят, «на экосистемном уровне». Но в экосистемах очень велико участие неживых компонентов — почв и подстилающих пород со своей химией и физикой, рельефа, гидросферы, климата, разнообразных искусственных, технических сооружений, а также и разных форм вмешательства человека. Экосистемные исследования в значительной мере сводятся к обобщающим показателям, таким как продуктивность, циклы продукции и деструкции, энергетический баланс, круговорот отдельных химических элементов (углерода, кислорода, серы и др.), т.е. направлены от конкретики разнообразия живых организмов в прямо противоположную сторону — к обобщающим цифрам единообразных физических и химических параметров.

Если же мы вычленим из экосистемы только ее живой компонент в качестве биоценоза (или фитоценоза, зооценоза), то различия между ними в основном сведутся к различиям в видовом составе.

II

К настоящему времени описано примерно 1.5—2 млн. видов живых существ — от вирусов до человека. Среди них больше всего насекомых — около 1 млн. — и настоящих растений (т.е. без грибов, водорослей и разных одноклеточных организмов, ранее считавшихся растениями) — около 250 тыс.; всех вместе взятых позвоночных животных — около 45 тыс. В то же время специалисты по отдельным группам считают, что на Земле огромное количество видов еще не открыто и не описано. Так, полагают, что насекомых насчитывается не менее 8 млн. видов, а может быть, даже и 100 млн. Круглых червей (нематод) при 15

тыс. описанных существует, возможно, до 1 млн. видов. У позвоночных животных и у растений ожидаемый прирост гораздо менее значителен: у первых может прибавиться вряд ли более 5 тыс., а у вторых общее число видов, вероятно, достигнет 300 тыс., но вряд ли полумиллиона.

В приводимых цифрах нельзя не заметить закономерности, аналогичной содержанию Красных книг: чем организмы мельче, чем они менее заметны для человека, тем меньше им уделено внимания, тем меньше они изучены, но тем больше ожидается открытий новых видов. Что же касается самых мелких (бактерий и вирусов), то тут соотношение числа известных видов с предполагаемым числом еще ожидающих описания поистине фантастическое: для вирусов оно составляет 5 тыс./500 тыс., а для бактерий — 4 тыс./400 тыс. и даже до 3 млн.² И это при том, что за последние три-четыре десятилетия в изучении разнообразия микроорганизмов произошел огромный рывок вперед, позволивший, в частности, основательно продвинуться в понимании самых ранних этапов развития биосферы. Насколько, значит, еще далеко до полного описания всех видов живых существ на Земле!

В 1994 г. группа американских научных организаций, в которых ведутся исследования по систематике, выдвинула программу «Systematics Agenda 2000: Charting the biosphere», цель которой — завершить в течение первой четверти XXI в. полную таксономическую инвентаризацию живых существ Земли. Инициаторы полны решимости добиваться необходимого финансирования, а также призывают коллег в других странах присоединиться к выполнению программы и, разумеется, к добыванию средств. По расчетам инициаторов, для реализации

² Источники цифр: Global Biodiversity Strategy. World Resources Institute (WRI), World Conservation Union (IUCN), United Nations Environment Programme (UNEP). 1992. S.1. P.244; Systematics Agenda 2000: charting the biosphere, Technical Report. 1994. S.1. P.34.

программы в течение 25 лет необходимо по 3 млрд. долл. ежегодно. Сейчас, конечно, еще трудно судить, сколь успешно будет развиваться эта инициатива и в какой мере в ней смогут участвовать российские систематики. Но что число известных видов организмов в ближайшие 10—15 лет существенно возрастет — это несомненно.

III

Существование огромного количества видов, естественно, вызывает вопрос: так ли уж важно сохранять их все? Ведь среди них есть и вредные для человека, и еще больше — ничем не примечательные. В течение всей истории жизни на Земле наряду с появлением новых видов исчезали старые. Если и сейчас какая-то ничем не примечательная травка или козявка находятся на пути к вымиранию — ну и пусть себе тихо и мирно вымрут, а их место займут более жизнеспособные и, возможно, для нас более интересные.

Вопрос серьезный. В ответ на него развивается аргументация по двум основным линиям. Первая: мы не только еще не знаем всех живущих ныне существ, но и еще менее знаем полезные свойства давно известных. Применительно к растениям — это прежде всего потенциальная пищевая или кормовая ценность, а также наличие различных биологически активных веществ, число которых все увеличивается и кажется поистине беспредельным. Новейшие примеры: открытие противолейкемического действия препаратов из мадагаскарского кустарника розового барвинка, или катаранта (*Cataranthus roseus*), и противоопухолевого действия — из коры и хвои калифорнийского тиса (*Taxus brevifolia*). Сравнительно недавно открыты в растениях и вещества, обладающие в сотни и даже тысячи раз более сладким вкусом, чем обыкновенный сахар. Так, южноафриканское растение из семейства сложноцветных *Stevia rebaudiana*, содержащее гликопротенид в 300 раз слаще сахара, уже

начинает входить в культуру.

За каждым открытием новых полезных свойств у какого-либо вида растений вполне естественно начинается поиск аналогичных качеств у других видов, особенно из ближнего родства. И совершенно ясно, что было бы, мягко говоря, неразумно поставить под охрану, скажем, катарант, а остальную богатейшую (13 тыс. видов) мадагаскарскую флору оставить беззащитной перед бурно нарастающей хозяйственной трансформацией земель. К тому же во флоре Мадагаскара 80% видов эндемичны, т.е. нигде более на свете не встречаются. В принципе ситуация сходна во всех странах, однако в тропических и субтропических она особенно остра.

Для тех, кто всякую пользу признает постольку, поскольку она выражена в долларах, в литературе, особенно американской, приводится немало подсчетов. Например, по сообщению уже упоминавшегося выше издания «Global Biodiversity Strategy» (1992), в США 20 наиболее популярных лекарств, содержащих вещества растительного и животного происхождения, продаются в год на 6 млрд. долл. А один живой слон, бродящий на воле в Кении, приносит доход от туристов на 600 тыс. долл. в год. И т.д.

Вторая группа аргументов в пользу полного сохранения всех форм жизни основывается на том, что организмы тесно связаны в своей жизнедеятельности не только с физическими условиями среды, но и между собой. И выпадение каких-то отдельных элементов из этой сложной сети взаимодействий может привести к совершенно неожиданным негативным последствиям. Таких примеров много. Так, уничтожение мест обитания диких пчел и шмелей снижает урожайность культур, которые опыляются этими насекомыми. Отсутствие хищных птиц в городе приводит к чрезмерному размножению голубей, среди которых вспыхивают массовые инфекции. Флора степи резко беднеет, если отсутствует необходимый компонент

степного биоценоза — копытные животные. После долгих лет курса на полное истребление волков пришли к выводу, что в условиях мало измененных природных экосистем волк — необходимый элемент; нужно только регулировать его численность. А в окультуренных экосистемах экологическую нишу истребленного волка начали занимать одичавшие собаки.

Современная биосфера сформировалась за миллионы лет и сейчас поддерживается при участии всех живых организмов. Конечно, будучи сложной саморегулирующейся системой, она обладает значительным запасом прочности, способностью к компенсации понесенных нарушений и потерь. Но ни в какой системе запас прочности не может быть беспредельным. И когда нам говорят, что при сохранении сегодняшних темпов наступления человека на дикую природу к 2100 г. число видов живых существ на Земле сократится вдвое, то надо крепко задуматься над последствиями этого.

Известный чеховский злоумышленник, отвинчивая на рыболовные грузила гайки от железнодорожных рельсов, оправдывался тем, что отвинчивает только некоторые. Мы усердно отвинчиваем гайки в сложном механизме биосферы, хотя и не знаем, сколько это допустимо, чтобы этот механизм не разрушился. Благоразумнее было бы не отвинчивать нисколько³.

Ведь человечество и то, что им создано (и что мы называем ноосферой), — это все производное биосферы.

³ Чеховский герой вряд ли имел хотя бы начальное образование, а очень модные ныне ученые слова «моделирование» или «паттерн» он и вовсе не слышал. Но как великолепно он смоделировал паттерн человеческого поведения, словно нарочно подходящий для описания нашего отношения к биосфере! Много позже, очевидно, независимо от чеховского злоумышленника и теперь уже специально имея в виду биосферу, была предложена очень похожая, но, на мой взгляд, менее удачная модель; в ней речь идет о выдирании заклепок из крыла самолета (Ehrlich P., Ehrlich A. Extinction. The causes and consequences of the disappearance of species. N.Y., 1981).

ры и ее неотрывная часть. Следовательно, деградация биосферы не может не привести и к деградации человечества.

IV

Равнодушно позволяя какому-то виду исчезнуть, мы фактически принимаем решение, основанное на незнании, и лишаем наших потомков чего-то, быть может, очень значительного. Это обстоятельство придает проблеме еще и моральное измерение. Человечество давно изжило геоцентрическое мировоззрение (представление, что Земля — центр Вселенной), но во многих из нас частенько еще проявляется взгляд на мир, на себя и на историю еще более узкий, к которому, пожалуй, подходит название «омфалоцентрический» (греч. *ομφαλο* — пупок). Это уверенность отдельных людей (или сообществ, кланов и т.п., особенно — стоящих у власти) в том, что их идеи и представления (и даже они сами) являются неким центром, решающим моментом, «пупом» общества, истории или даже всей Земли. И потому они считают себя вправе решать за своих современников и потомков важнейшие жизненные вопросы — вплоть до «переделок», и не только природы, но и самих людей.

Источник подобного омфалоцентрического менталитета видится в том, что человек уже со времен древних цивилизаций считал себя «царем природы», «венцом творения» — фигурой более близкой к Богу (или богам), чем к остальным живым существам. Не случайно же божества в самых разных религиях имеют (или напоминают) облик человека. В свою очередь, фараоны, императоры, вожди могли возвыситься до божественного статуса и божественных прерогатив.

В новые времена такого рода мифологические представления трансформировались в тезис (принимаемый уже за научный) о человеке как вершине эволюционного прогресса. А отсюда логически (и психологически) проистекают идеи о существовании некой определенной, изначальной на-

правленности эволюции. Подобные теории многократно выдвигались в разных вариантах и под разными названиями («ортогенез», «номогенез», «аристогенез», «протерогенез», «гологенез» и др.), но все с тем же принципиальным содержанием. В совокупности их можно обозначить как финализм⁴.

В России в XX в. наиболее выдающимися представителями финализма (известного у нас преимущественно под названием «номогенез» — «эволюция на основе закономерностей») были Л.С.Берг, А.А.Любичев, С.В.Мейен, а за рубежом — П.Тейар де Шарден.

Но если эволюция была направлена от каких-то первичных форм жизни прямо к человеку, то как тогда объяснить возникновение множества совершенно разных типов организации и миллионов видов, которые никак нельзя даже приблизительно выстроить по этой прямой линии (лестнице)? А если уже достигнута (или близка) вершина эволюции, то почему не уходят со сцены самые «низшие» ее создания — прокариоты и вирусы — и даже процветают и создают серьезные угрозы «высшим»?

Замечательный биолог-мыслитель Август Вейсман еще в конце XIX в. постулировал принципиальное единство организации всех живых существ: построение каждого организма из двух подсистем. Одна из них управляет развитием и обеспечивает воспроизведение родительского типа в потомстве (Вейсман назвал ее «зародышевой плазмой», хотя тогда было неясно, как она выглядит и где находится), а другая осуществляет повседневную жизнедеятельность организма — «сомы». В середине XX в. обнаружили поразительное единообразие во всем живом мире (от

вирусов до человека) основных химических субстратов этих двух подсистем: нуклеиновые кислоты в первой и белки — во второй. Все это — очень сильные свидетельства в пользу единства происхождения всех известных нам ныне проявлений жизни.

Все гипотезы о происхождении жизни пытаются объяснить, как она могла возникнуть. Но ни одна из них не в состоянии показать, что жизнь **должна** была возникнуть; необходимость возникновения жизни не вытекает ни из каких физических законов. Представление о ее возникновении как о закономерном и необходимом этапе в истории Земли — чисто метафизическое, умозрительное, в духе гегельянства. (Кстати сказать, к нему склонялся и представитель материалистической ветви гегельянства Ф.Энгельс, что и обеспечило довольно благожелательное отношение к подобным представлениям философов-марксистов советской эпохи.) Фактически же все свидетельствует о том, что возникновение жизни было событием случайным и, вероятно, однократным (и даже, быть может, первоначально произошедшим не на Земле, а где-то еще раньше в Космосе).

Вместе с тем и появление на свет каждого нового индивида, включая и автора этих строк, и Вас, дорогой читатель, — тоже факт случайный. Даже у наших родителей вместо нас мог появиться кто-то другой (или вообще никто). Итак, возникновение жизни и новейших ее ростков — события случайные. А согласно современной интерпретации теории Дарвина, вообще все, и большие и малые, шаги эволюции стали возможны благодаря возникновению случайных изменений в аппарате наследственности. Таким образом, вся последовательность живых существ на Земле представляется в виде ветвящейся цепочки закрепившихся случайностей.

Как бы мы субъективно-психологически ни относились к дарвинистской модели, фактически только она объясняет возникновение всего многообразия жизни, не прибегая ни к каким произвольным допущениям метафизи-

⁴ Термин происходит от выражения «causa finalis» («конечная причина»), которое фигурирует в аристотелевской философии и истолковывается как идеальная цель, выступающая в качестве причины. Подробнее о течениях и философии финализма см.: Назаров В.И. Финализм в современном эволюционном учении. М., 1984.

ческого или мифологического характера. Из этой модели следует, что эволюция не только не имеет заданной направленности, но, как раз наоборот, представляет собой непрерывный поиск все новых и новых направлений. Человек — одно из новейших ответвлений древа жизни. Каким бы ни было это ответвление незаурядным по своим особенностям, перед законами биологии оно равноправно в ряду других ветвей. Подобно всем другим существам, человек неукооснительно подвластен всем законам живого мира.

Цепочка жизни непрерывна, и от любого ныне существующего организма, будь то человек, одуванчик, морской еж и т.д., ретроспективно можно протянуть непрерывную (пусть гипотетическую) линию до самых первичных начатков жизни. Можно нарисовать эту линию восходящей прямой, и принять за изначальное заданное генеральное направление эволюции. И если бы морской еж мог рассуждать о филогенезе, целью и вершиной направленной эволюции он обозначил бы самого себя.

V

Все сказанное подводит к мысли, что основной результат эволюции, ее главное достижение — не человек, а все многообразие форм жизни, в котором человек — только один из компонентов.

Но если так, то, очевидно, уже не следует принимать за критерий эволюционного прогресса степень приближения организации того или иного существа к человеческому образу. Что же тогда принять за такой критерий? В литературе очень часто упоминаются «прогрессивная эволюция» и «эволюционный прогресс», однако четкого и общеприемлемого определения этих понятий нет. Чаще всего выдвигается достижение «большого совершенства» или «более высокого уровня» организации. Но критерий «совершенства» — это *ignotum per ignotius* (объяснение непонятого через еще более непонятное); в нем слишком велик простор

для субъективных оценок, и он лишен универсальности. В самом деле, кто «более совершенен»: дуб или волк, белый гриб или сидящая рядом улитка, человек или сосущий его кровь комар? Все они по-своему совершенны и все для природы равны.

Критерий «высоты организации» кажется более подходящим, если «высоту» понимать просто как степень сложности. Тогда возможны некоторые сравнительные оценки, по крайней мере в рамках одной филогенетической ветви. Например, у позвоночных переход от двухкамерного сердца к трех-, четырехкамерному или у растений переход в проводящей системе от трахеид к сосудам — это усложнения, которые можно обозначить как «повышение уровня организации».

Для царства животных довольно интересный вариант критерия «высоты организации» — показатель интенсивности обмена; впрочем, здесь рептилии оказались на одном уровне с рыбами, а воробьиные птицы превзошли млекопитающих⁵. У растений интенсивность обмена сравнительно просто оценить по скорости прироста биомассы. И тут мы легко можем столкнуться с ситуацией, еще более парадоксальной, чем у животных: различия между растениями одного вида могут оказаться в несколько раз большими, чем различия между средними показателями разных видов.

Если, наконец, принять чисто временной критерий, т.е. считать эволюционным прогрессом просто появление любой новой филетической группы, то этим мы по существу лишь констатируем, что эволюция продолжается, и не даем никакой оценки ее «прогрессивности»⁶.

⁵ Дольник В.Р. Энергетический обмен и эволюция животных // Успехи соврем. биологии. 1968. Т.66. № 5. С.216—293; Зотин А.И., Зотин А.А. Прогрессивная эволюция: термодинамическая основа // Изв. РАН. Сер. биол. 1995. № 4. С.389—397.

⁶ Читателю, которого заинтересует более подробное обсуждение проблем оценки «эволюционного прогресса», рекомендую весьма содержательную и вместе с тем очень популярно написанную книгу В.А.Бердникова «Эволюция и прогресс» (Новосибирск, 1991. С.191).

В общем получается, что единого, достаточно объективного и универсального (т.е. приложимого ко всем группам живого мира) критерия эволюционного прогресса пока не найдено.

Представляется однако, что такой критерий все же можно предложить. Если мы принимаем за главный результат эволюции создание многообразия живых существ и тем самым признаем стремление к его расширению фундаментальным свойством живой материи, то за основной показатель эволюционного прогресса следует принять динамику многообразия. Такой критерий в равной мере приложим как к любой отдельной (большой или малой) филогенетической ветви, так и ко всей биоте в целом. Собственно, мы уже нередко и пользуемся этим критерием, называя «прогрессивными» виды, роды, семейства и т.п., если они в данную эпоху показывают высокие темпы эволюции, находящие выражение в формировании новых видов, подвидов, локальных рас и экотипов, в географической и экологической экспансии. Если состав группы долго остается стабильным — она консервативна. Если же ее многообразие сокращается — мы вправе назвать такую группу регрессивной; еще далее она может стать реликтовой или вовсе вымирающей. Следовательно, утрата любых видов, а тем более семейств, классов — это явления регрессивные. И если они широко проявятся во всей биоте и начнут преобладать над возникновением новых групп — это будет означать регресс биоты и деградацию биосферы.

Предлагаемый критерий ни в какой мере не противоречит сравнительным оценкам сложности («уровня») организации или же интенсивности обмена и т.п. Но более сложно устроенные организмы рассматриваются не как «высшие», в смысле продвижения по какому-то предначертанному пути, а просто как варианты многообразия. Вполне понятно, что более сложные возникают из более простых, и поэтому на арене жизни

более просто устроенные организмы появляются раньше более сложных (хотя нередко бывает и вторичное упрощение). Понятно также, что всякое увеличение сложности сразу дает простор дальнейшему расширению многообразия. И в таком следовании эволюционных событий мы, конечно, узнаем хорошо известную схему А.Н.Северцова: чередование ароморфозов и идиоадаптаций (или, в терминологии Дж.Хаксли, — градогенеза и кладогенеза⁷).

Предлагаемый критерий эволюционного прогресса позволяет по-иному, чем это обычно принято, взглянуть и на вторичное упрощение структуры организмов. Например, повилики (род *Cuscuta*) — паразитические растения с нитевидным стеблем, не имеющие ни корней, ни листьев и лишенные хлорофилла, являются членами или близкими родственниками семейства выюковых (*Convolvulaceae*). Их появление — эволюционный прогресс или регресс? Конечно, паразитировать нехорошо, но поскольку возникновение повилик расширило многообразие семейства, его следует расценивать как эволюционный прогресс⁸. Есть примеры упрощения и не связанные с

⁷ «Ароморфоз» и «градогенез» означают практически одно и то же: «поднятие на новый эволюционный уровень», или, вернее, приобретение важных новых свойств, позволяющих освоить новую широкую адаптивную зону; «идеоадаптация» или «кладогенез» — дальнейшая эволюционная иррадиация уже в рамках этой новой зоны.

⁸ В обиходном языке мы часто даем природным явлениям характеристики, заимствованные из человеческой шкалы нравственных оценок. В научных контекстах, конечно, следует этого избегать. Эволюционный процесс, в какую бы сторону он ни шел, сам по себе ни плох, ни хорош — он просто существует. Наоборот, интерпретация человеческой морали в общем биологическом и эволюционном плане вполне возможна. Каждый вид животных имеет свой определенный кодекс норм индивидуального и группового поведения, закрепленных эволюционно и традиционно и направленных на поддержание благополучия как отдельных коллективов внутри вида (у человека — семьи, популяции, племена, народности, профессиональные сообщества и т.д.), так и всего вида в целом. Мерой соответствия или несоответствия этому кодексу и определяется моральная оценка отдельных событий.

паразитизмом. Таковы, например, ряски (семейство Lemnaceae с 6 родами и 30 видами). Это обитающие в водоемах крошечные растения (размеры в миллиметрах), зеленые, но не разделенные на стебель и листья, а некоторые и без корней; их считают сильно упростившимися потомками большого семейства ароидных (Araceae). Они завоевали собственную экологическую нишу и существенно увеличили разнообразие порядка Arales.

Думается, что принятие предлагаемого критерия эволюционного прогресса позволит полнее ощутить и оценить величественность и значимость картины многообразия жизни на нашей планете и стимулировать надлежащее к ней внимание и уважение. А вместе с тем поможет и окончательно демифологизировать наши представления об эволюции.

VI

Размышления над предлагаемым критерием ведут еще дальше. Поскольку человек — продукт эволюции живого мира, можно думать, что и процессы микроэволюции в рамках вида *Homo sapiens* будут в какой-то мере изоморфны процессам, происходящим в других ветвях древа жизни. Уже на переходе от биологической к собственно гуманитарной эволюции вид *Homo sapiens* проявил себя как высоко прогрессивная ветвь, что выразилось и в формировании множества внутривидовых групп (рас, племен), и в энергичной экологической и географической экспансии. Далее, уже достаточно убедительно показано, что развитие человеческого познания идет по схеме дарвиновской эволюции; это же можно сказать и про развитие технологии, а в какой-то мере — и всей культуры и социальных учреждений⁹. Но в таком случае и здесь показателем прогресса должно слу-

жить то, что вытекает из дарвиновской схемы — увеличение многообразия.

Естественное развитие и идет в сторону расширения многообразия. Но в человеческом обществе это расширение часто искусственно сдерживается попытками введения принудительного единообразия (и единомыслия) в оценках всех явлений, в расположении их по единой шкале — от «низших» (или даже подлежащих полному запрету) — к «высшим», от «реакционных» к «прогрессивным», от «незрелых» к «зрелым» и т.д.

Наш XX в. принес определенные сдвиги в пользу признания как равноправия рас и народностей, так и многообразия ценностей культуры и искусства. Но вместе с тем были принесены огромные жертвы ради утверждения все тех же недобрых идей о превосходстве «высшего»: «высшей» расы и «высшего» типа социального устройства, за чем следовал неминуемый крах. Если бы идеология марксизма-ленинизма не была столь непримиримо «единственно верной» и «всепобеждающей», а искала бы сотрудничества с другими идеями, и социальными (например, с представлениями английского историка Арнольда Тойнби о цивилизациях или нашего соотечественника Л.Н.Гумилева — об этносах), и экономическими, — то, возможно, мы могли бы избежать случившейся катастрофы.

Кстати, не лишне напомнить, что среди 26 признанных Тойнби цивилизаций разных эпох и континентов значилась и русская, представленная как один из двух вариантов Православной цивилизации (второй вариант — восточно-средиземноморский). Правда, Тойнби считал, что русская цивилизация, возникшая в X в., на рубеже XIX—XX в., т.е. с началом революционного движения в России, вступила в фазу упадка. Но Тойнби на четверть века не дожид до нашего времени. Не оправдывается ли применительно к России известное изречение: «Plus ça change, plus c'est la même chose» («Чем более это меняется, тем больше оно остается тем же самым»), и не

⁹ Campbell D.I. // Psychol. Rev. 1960. V.67. № 6. P. ; Csanyi V. General theory of evolution. Budapest, 1982; Скворцов А.К. Механизм ограниченной эволюции и прогресса познания // Природа. 1992. № 7. С.3—10.

напрасно ли мы сейчас так пыхимся перенять «американский образ жизни», который, конечно, представляет собой свою особую цивилизацию.

Нельзя, наконец, не отметить, что принципиальная установка на расширение или, по меньшей мере, сохранение разнообразия культур весьма важна и при обсуждении все обостряющихся проблем и судеб малых народов Севера и тропических джунглей.

VII

Не только характер эволюции живых существ помогает понять и оценить явления человеческой культуры. Очень важная подсказка идет и в обратном направлении — от культуры к оценке биологического разнообразия. Важнейшие явления культуры, культурное наследие, традиции — все это ценности некоммерческие, непродажные. И разные цивилизации отличаются одна от другой прежде всего именно совокупностью таких непродажных, духовных ценностей. И вот в нашу эпоху, очевидно, назрела необходимость придать статус непродажных, некоммерческих ценностей и многообразие жизни. Это, конечно, не означает абсолютной неприкосновенности каждой отдельной травки, каждого жучка или зайчика. Но это означает, что ни травка, ни жучок, ни зайчик не должны уничтожаться «за просто так», беспричинно и бездумно.

Очень удачно сформулировал суть дела современный жизнезащитник Е. Вилсон: «Каждая страна имеет три вида достояния: материальное, культурное и биологическое». И далее: «К биологическому достоянию мы относимся недостаточно серьезно. Это крупная стратегическая ошибка, и о ней с течением времени мы будем сожалеть все больше»¹⁰. К этому можно добавить, что в то время как потери в материальном достоянии могут быть полностью восстановлены, культурные и исторические памятники

если не полностью, то хотя бы частично воссозданы или повторены в виде более-менее достопримечательных имитаций, — но если целиком будет утрачен какой-либо вид живых существ, эта потеря не восполнима.

Придание статуса непродажной национальной ценности объектам живой природы не является чем-то совершенно новым. Важнейший пункт российского законодательства о заповедниках — это полное их изъятие из хозяйственной деятельности. Тем самым и все, что живет в заповедниках, становится ценностью некоммерческой.

Соотношение ценностей коммерческих и некоммерческих хорошо увязывается с предлагаемым критерием прогресса. Если мы тратим деньги на приобретение или создание различных культурных или художественных ценностей, мы за счет безликого единообразия денег увеличиваем многообразие культуры — это прогрессивное действие. Наоборот, распродавая музей, библиотеку, мы превращаем культурное многообразие в единообразие денег — и это, конечно, регресс.

Наши западные коллеги-биологи пытаются подтолкнуть дело придания многообразию жизни принципиального статуса некоммерческой ценности или некоего символа, атрибута цивилизации XXI в. Интересен проект Конвенции ООН по биоразнообразию, разработанный совещанием экспертов в Мадриде в 1991 г.¹¹ Здесь в первой же фразе «преамбулы» признается, что человечество «населяет Землю наряду с другими формами жизни, которые должны продолжать существовать независимо от того, насколько они полезны человечеству». В одном из предложенных вариантов статьи 1 цель Конвенции определяется так: «Сохранить максимально возможно биологическое разнообразие для пользы настоящего и будущих поколений людей и ради присущей ему (разнообразию)

¹⁰ Wilson E.O. The diversity of life. Cambridge (USA), 1992. P.311.

¹¹ United Nations Environment Programme // Revised draft Convention on biological diversity. (Mimeographed). Препринт.

собственной, имманентной ценности (intrinsic value)». Однако представители развивающихся стран, энергично эксплуатирующих ресурсы дикой живой природы, настаивали на том, чтобы рассматривать охрану биоразнообразия только как интегральный процесс экономического развития и никоим образом не изолированно от него (альтернативный вариант статьи 1).

В 1993 г. Национальный исследовательский совет США по соглашению с Министерством естественных ресурсов (Department of Interior) создал весьма компетентный комитет под председательством Питера Рэвена — одного из виднейших деятелей в сфере охраны биоразнообразия, чтобы разработать проект формирования особого федерального ведомства — Национальной биологической службы (National Biological Survey). Задачи ведомства: поддержка и координация исследований многообразия живого мира страны (начиная с классической систематики), а также мониторинг, организация охранных мероприятий, контроль за использованием биоресурсов и всевозможные консультации. Программа широка, хорошо проработана и изложена в специальной публикации¹². Обсуждать ее в деталях здесь, конечно, не место; необходимо только отметить тот принципиальной важности факт, что в ней в качестве национального достояния рассматривается весь живой мир страны в целом, а не только традиционно используемые виды. Правда, полное осуществление проекта несколько затормозилось из-за бюджетных проблем (задачи Биологической службы пока выполняются в рамках службы Геологической), но, конечно, ненадолго; можно уверенно предвидеть, что на свертывание дело не пойдет.

Идея создания государственной «биологической службы» родилась не сегодня. Так, в Индии уже в 1890 г. была организована «ботаническая

служба» (Botanical Survey of India) с центром в Калькутте и несколькими региональными отделениями; она вела активную, но в основном только исследовательскую, деятельность до 30-х годов (в сильно ослабленном виде существовала и далее). Выдвигалась эта идея и у нас; в послевоенные годы ее особенно пропагандировал выдающийся ботаник-географ А.И.Толмачев (1903—1979). Однако до каких-либо осязаемых шагов реализации дело не дошло. И, конечно, не только из-за того, что «наверху» не нашлось денег для создания подобного ведомства, а еще из-за боязни и нежелания самих ученых оказаться повязанными ведомственным бюрократизмом. Совсем недавно, в 1990 г., две конференции биологических учреждений СССР, посвященные проблемам биоразнообразия, в заключительном меморандуме обозначили в качестве важной задачи «создание регулярной таксономической службы СССР (службы флоры и фауны)», однако статус и функции этой службы обрисованы в весьма академичном духе¹³. По-видимому, в большей мере сочетает научные задачи с социально-культурными и административными мексиканская Комиссия по изучению и использованию биоразнообразия (Comision nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad).

Но не так важна организационная форма, как важна суть дела: природное биологическое разнообразие должно быть громко и отчетливо провозглашено общенациональным достоянием, и все основные вопросы его изучения, использования и охраны должны решаться на общенациональном, государственном уровне. Для России, с ее огромными, еще неполностью освоенными биологическими ресурсами, это особенно важно. Столь же важно, конечно, настойчиво просвещать в таком духе общественное сознание.

¹² A Biological survey for the Nation. Washington, 1993. P.205.

¹³ Биологическое разнообразие: подходы к изучению и сохранению. Материалы конференций... / Под ред. Б.А.Юрцева. СПб., 1992. С.214, 222.

«Я не мог пройти мимо науки»

(К 100-летию А. П. Виноградова)



АЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ ВИНОВАДОВ
9(21).VIII.1895—16.XI.1975

В октябре 1995 г. в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского (ГЕОХИ) и в Московском государственном университете им. М.В.Ломоносова состоялись юбилейные научные мероприятия, посвященные 100-летию со дня рождения академика Александра Павловича Виноградова (1895—1975).

А.П.Виноградов был выдающимся ученым-геохимиком, продолжателем дела В.И.Вернадского. За долгую свою жизнь он создал отечественную школу геохимиков, занявшую достойное место в мировой науке. Сделал это Виноградов прежде всего своими собственными блестящими исследованиями в геохимии, биохимии, космохимии. Но он не был ученым одиночкой: после Александра Павловича в науке остались его многочисленные ученики и последователи, выросшие и на кафедре геохимии МГУ им. М.В.Ломоносова, которой он руководил с 1953 по 1975 г., и в созданном и выпестованном им Институте геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского, которому Виноградов, директор института, оставался верен со дня основания до своей кончины.

Мы предлагаем вниманию читателей материал о роли А.П.Виноградова в развитии современной геохимии, воспоминания о нем и обзор научной сессии, проходившей в ГЕОХИ.

А.П.Виноградов и современная геохимия

А. А. Ярошевский,

доктор геолого-минералогических наук

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

ГЕОХИМИЯ — молодая наука. Ее возникновение, как писал В.И.Вернадский, связано с великой революцией в физике, которая привела к доказательству физической реальности атомистической картины мира. Исследование естественной истории атомов химических элементов стало одной из задач естествознания XX в.

Александр Павлович Виноградов принадлежал ко второму поколению ученых, создававших современную геохимию. Будучи в течение 20 лет ближайшим сотрудником Владимира Ивановича Вернадского, он еще в молодые годы оказался в центре интенсивной работы в области новой науки, был одним из первых и пристрастных читателей работ В.И.Вернадского, Ф.Кларка, А.Е.Ферсмана, В.М.Гольдшмидта. Но долгие годы жизни, преданность науке, талант ученого и неиссякаемая любознательность, поддерживаемая удивительным ростом науки в середине XX в., сделали Александра Павловича самым активным участником и одним из творцов того расцвета геохимии в 50—70-е годы, свидетелями которого уже являемся мы, геохимики более молодых поколений. У него счастливая научная судьба; в своей работе ему довелось столкнуться с новыми явлениями, его трудами открывались новые области знания, он ввел в науку новые идеи, ему довелось быть участником практической реализации некоторых из них.

Удивительно стройно сложилась научная биография Александра Павловича. Заинтересовавшись еще в студенческие годы вопросами химического состава живых организмов и выполнив первую свою научную работу в лаборатории профессора В.С.Садикова на кафедре биохимии Ленинградского университета (две его статьи о содер-

жании воды и органогенных элементов в организмах были опубликованы в «Biochemische Zeitschrift» в 1924 г.), он знакомится с В.И.Вернадским, и с 1926 г. начинается их совместная работа. В организованном Вернадским отделе по изучению живого вещества в КЕПСе (Комиссия по изучению естественных производительных сил), преобразованного вскоре в Биогеохимическую лабораторию Академии наук СССР, впервые в мире ставятся работы по систематическому изучению химического состава живого вещества. Все было внове — отрабатывались методики сбора организмов, составлялись инструкции, решались проблемы выбора и отработки методов химического анализа, особенно на второстепенные элементы, организовывались экспедиционные работы в районе Ленинграда, на Украине, морские экспедиции в Баренцевом море, привлекались и обучались молодые сотрудники. Научная организация этих исследований целиком с самого начала легла на плечи Александра Павловича, и он быстро становится лидером.

Темпы работ поражают. Уже с 1927 г. начинают выходить в свет статьи, содержащие первые результаты, а к концу 30-х годов в фундаментальных трудах В.И.Вернадского («Проблемы биогеохимии» и «Химический состав биосферы Земли и ее окружения») и А.П.Виноградова («Химический элементарный состав организмов моря») подводятся первые итоги. Опубликованные материалы легли в основу наших современных представлений о геохимии живого вещества. Опираясь на эти результаты, А.П. впервые в науке смог оценить средний химический состав живого вещества (его таблица была опубликована в примечаниях к 1 тому избранных сочинений В.И.Вернадского) и обосновать важнейшие биогеохими-



Экспедиция БИОГЕЛ в заповедник Конча-Заспу (Украина). В центре — В.И.Вернадский, справа — Х.Г. и А.П.Виноградовы. 1928 г.

ческие принципы (концентрация в живом веществе химических элементов, подвижных в водной и газовой оболочках биосферы; связь концентраций биохимически важных элементов с систематическим положением организмов; связь концентрации элементов в организмах с геохимическими особенностями среды и введение понятия «биогеохимические провинции»).

Переезд Академии наук в Москву. Все заботы по организации работы и быта на новом месте А.П. берет на себя. Дел невообразимое количество, но главное — наука. Планы резко расширяются. Продолжаются работы по систематическому анализу живых организмов, они сопровождаются целенаправленным геохимическим исследованием среды их обитания. Природные воды, илы океанов, почвы континентов вовлекаются в круг изучаемых объектов. И очень быстро

накапливающиеся новые данные складываются в стройную картину.

В 40-х годах А.П.Виноградов публикует капитальную сводку распространённости химических элементов в морской воде (он вернется позже к этим проблемам в монографии «Введение в геохимию океана», опубликованной в 1967 г.). И снова, как и при изучении химического состава организмов, эти данные позволяют поставить крупные проблемы, подойти к пониманию механизмов природных процессов. А.П. формулирует представление о консервативности химического состава океана, постоянстве его в течение, по крайней мере, последних сотен миллионов лет истории. Он показывает, как соотношения химических элементов в природных водах отражают их историю, и демонстрирует использование Cl/Br-коэффициента для решения вопроса генезиса вод; доказывает роль морских организмов в концентрировании йода и брома в иловых водах и, тем самым, расширявает механизм формирования обога-



Первые сотрудники Биогеохимической лаборатории АН СССР. Слева направо, в верхнем ряду — Г.Г.Бергман, М.А.Нарышкина, ?, Ш.Е.Каминская, М.К.Воскресенская; в нижнем — К.Г.Кунашева, Н.В.Садикова, Е.В.Кубовец, А.П.Виноградов. 1929 г.

щенных этими элементами вод. Принципы поведения химических элементов, обоснованные в работах А.П.Виноградова, получили глубокое развитие в исследованиях М.Г.Валяшко, построившего стройную современную концепцию геохимии природных вод.

Анализы содержаний различных химических элементов в почвах, полученные в Биогеохимической лаборатории и вошедшие в монографию Виноградова «Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах», опубликованную в начале 50-х годов, оказались первым систематическим материалом в данной области. В этом направлении А.П. не пришлось дальше активно работать, но уже первые обобщения вскрыли прямую зависимость содержания микроэлемен-

тов в почвах от геохимических особенностей почвообразующих пород и активности организмов. Эти выводы легли в основание дальнейшей разработки концепции биогеохимических провинций и проблем их практического использования, которыми продолжал заниматься коллектив биогеохимической лаборатории ГЕОХИ АН СССР, руководимой в послевоенные годы В.В.Ковальским.

Еще в начале 30-х годов, сразу после открытия дейтерия, по предложению В.И.Вернадского А.П.Виноградов ставит в лаборатории экспериментальные работы по выделению из организмов и других природных объектов воды и определению ее изотопного состава. Уже в 1934 г., еще в Ленинграде, заработал первый в стране электролизер для производства тяжелой воды. К концу 30-х годов получены первые результаты — оказалось, что вода разного происхождения имеет различный изотопный состав, и это может служить надежным критерием ее происхождения. Эти пионерские в мире



работы привели к доказательству дегидрогенизации воды как основного механизма, ведущего к выделению фотосинтетического кислорода, к установлению важнейших для биосферы реакций, сопровождающихся фракционированием изотопов кислорода. Развитие этих исследований, уже в послевоенные годы, в ГЕОХИ АН СССР (и других научных центрах мира), с включением в сферу изучения изотопов других легких элементов, а также радиогенных изотопов, привели к накоплению фундаментальных данных и формированию нового направления в геохимии — геохимии изотопов. Выявленные закономерности поведения изотопов в геохимических процессах позволили А.П.Виноградову решить целый ряд геохимических проблем (идентификация первичного вещества горных пород и руд земной коры, определение абсолютного возраста геологических формаций, в частности докембрийских). Опубликованные А.П. совместно со своими сотрудниками решения этих задач стали классическими в геохимии.

Активное участие А.П.Виноградова

во второй половине 30-х годов в работах Комиссии по изучению тяжелой воды (впоследствии — по изучению изотопов) и Урановой комиссии предопределило привлечение Биогеохимической лаборатории к работам по урановому проекту. Интересно отметить, что А.П. уже в 1940 г. в специальной записке, представленной В.И.Вернадскому, предложил использовать термодиффузионный метод разделения изотопов урана в виде гексафторида.

В связи с постановкой В.И.Вернадским проблемы создания геохимической карты биосферы в конце 30 — начале 40-х годов А.П.Виноградов развертывает работы по изучению химического состава осадочной оболочки (на примере Русской платформы). Но маленькими силами лаборатории эти исследования поставить очень трудно, и возникает естественная необходимость в расширении фронта работ и создании геохимического института. Уже в 1937 г. А.П. думает над программой такого института, но все планы прерывает война. Лишь в конце 1942 г., в Боровом, когда ход войны уже ясен и пора думать

Выступление на Ломоносовских чтениях в МГУ. 1973 г.



На кафедре геохимии МГУ со своими учениками В.А.Гриненко, В.М.Кутюриним, А.А.Ярошевским. 1960 г.

о будущем, Виноградов и Вернадский создают такую программу. С ней стоит познакомиться — она фактически формулирует задачи, над которыми работал созданный в 1947 г. Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского в течение 20 последующих лет (в ней названы следующие основные направления будущего института: изучение явления рассеяния химических элементов; геохимия изотопов; изучение газового режима Земли; биогеохимическая роль микрозлементов, палеобиогеохимические исследования; геохимия осадочных пород; разработка физико-химических методов анализа).

Планы по систематическому изучению геохимии осадочной оболочки удалось по-настоящему реализовать лишь с приходом в Институт А.Б.Ронова, разработавшего новый метод определе-

ния объемов вулканогенно-осадочных пород. Полученные в ходе огромных последующих многолетних трудов результаты составили современную базу количественной геохимии земной коры.

Но сам А.П.Виноградов шел дальше. В первые же послевоенные годы, с созданием Института и расширением аналитической базы, он обратился к общим вопросам геохимии земной коры, уже выходя за пределы собственно биосферной постановки проблемы. Итоги его работ в этой области оказались не менее впечатляющими. Во-первых, в 50 — 60-х годах он опубликовал свои оценки фундаментальных геохимических констант — распространенности химических элементов в главных типах земной коры и в земной коре в целом. Эти цифры сразу были приняты научным сообществом: они



Участники атомного проекта: М.Г.Персухин, Е.И.Славский, А.П.Виноградов, А.П.Александров в Институте атомной энергии им. И.В.Курчатова. 1966 г.

учитывали огромный объем новых, прецизионных определений и существенно скорректировали классические таблицы Гольдшмидта (цифры Виноградова сохранили свое научное значение и до настоящего времени). Но, во-вторых, и это очень характерно для А.П., эти данные послужили для него основанием сформулировать представления о тех глобального значения процессах, которые привели к формированию земной коры наблюдаемого состава. Напомню, что, выступая в 1952 г. на I Всесоюзном космогоническом совещании, Виноградов подчеркивал: геохимики не могут отказаться от представлений о расплавленной Земле, так как иначе они не могут объяснить систематическое обогащение земной коры по сравнению с исходным (метеоритным) веществом элементами, характерными для легкоплавких магматических расплавов (имеются в виду классические представле-

ния В.М.Гольдшмидта о дифференциации силикатной оболочки Земли). Но уже в следующем году А.П. нашел такой механизм — он предложил свою знаменитую гипотезу зонного плавления мантии в качестве механизма выплавления вещества земной коры, подтвердив ее реалистичность красивым экспериментом по зонному плавлению силикатной фракции хондритов. Дополнив ее гипотезой дегазации недр планеты, он создал стройные представления о химической эволюции Земли, которые изложил в лекции, прочитанной на 1-м чтении им. В.И.Вернадского в 1959 г. Важным следствием этих представлений было обоснование химического состава возможной первичной атмосферы (вообще атмосфер планет земного типа) как состоящей из молекулярного азота, углекислоты и паров воды, что имеет принципиальное значение для понимания условий, в которых могла зародиться жизнь и сформироваться биосфера (этой проблеме был посвящен доклад А.П.Виноградова на симпозиуме о происхождении жизни, который состоялся в Москве в 1957 г.).

Начинается космическая эра. А.П.Виноградов взял на себя руководство всеми работами в нашей стране по изучению внеземного вещества. Результаты не заставили себя долго ждать: определение типа вещества поверхности Луны с орбитального спутника методом γ -съемки; определение радиоактивности и, соответственно, геохимического типа вещества поверхности Венеры; впечатляющие данные о составе атмосферы и облачного слоя Венеры; наконец, комплексное изучение доставленного в лаборатории лунного грунта. И снова для А.П. этот уникальный материал важен прежде всего как основа представлений о природе планетных процессов. За несколько месяцев до первой экспедиции на Луну «Аполлона-11» Виноградов публикует статью о принципиальном значении в составе пород лунной коры базальтов (в этой статье он обращается к базальтическим ахондритам как возможному представителю лунных пород; это конкретно оказалось не так — лунные базальты, как стало ясно сразу после поступления проб лунного грунта, имеют четкие геохимические отличия и от земных базальтов, и от пироксен-полевошпатовых ахондритов, но идея Виноградова о типе вещества поверхности Луны полностью оправдалась; кстати, так называемые «лунные метеориты» впоследствии были установлены в составе антарктической коллекции и тоже, естественно, относятся к классу пироксен-полевошпатовых ахондритов). Он видит в полученных материалах по геохимии атмосфер и пород поверхности Луны, Венеры, Марса доказательства гипотезы выгравливания и дегазации и распространяет свои представления на все планеты земной группы. Столкнувшись с вариациями тонких геохимических особенностей базальтового вещества разных тел Солнечной системы (Земля, Луна, Венера, родительское тело базальтических ахондритов), он сразу пересматривает свои прежние представления о тождественности состава глубинного вещества планет земной группы и какого-либо конкретного типа хондритов и переходит к представлениям о гетерогенной аккреции планет...

Но, к сожалению, судьба прервала удивительную научную активность 80-летнего ученого.

А.П.Виноградов — ученый XX в. Его, по-видимому, внутренне неудовлетворяла позиция естествоиспытателей прошлого, которые чувствовали недостаточность чисто механистических представлений о Природе и ограничивали себя описанием фактов и стремлением уловить общую картину явлений, — его, совершенно определенно, более всего привлекала возможность заглянуть внутрь явлений, понять те механизмы и действующие силы, которые не лежат на поверхности фактов. Несомненно, это стремление поддерживалось поразительным развитием физики и внедрением ее методов и, что даже более важно, стиля мышления во все естественные науки — химию, биологию, геологию, в которой проводником такого подхода стала геохимия. И методология работы здесь очевидна: опора на новые, полученные корректными методами фактические материалы, выявление основных эмпирических закономерностей и поиск механизмов, которые могли бы вести к наблюдаемой картине распределения химических элементов в природных системах. Решающим аргументом в пользу возникающих идей А.П.Виноградову служили физико-химически ясные закономерности распределения химических элементов и их изотопов в природных объектах. Этот подход — использование методов физико-химического анализа и моделирования поведения элементов в геологических процессах — основной в геохимии и имеет принципиальное значение. Все работы руководимых А.П. Института геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского и кафедры геохимии Московского университета были пронизаны этим подходом. Именно эта методологическая позиция предопределила огромные успехи геохимии вообще, российской геохимии в частности, сформировала современную школу геохимии в нашей стране, занявшую передовые позиции в мировой науке; она по праву должна считаться школой Александра Павловича Виноградова.

Штрихи к биографии

Л. Д. Виноградова

Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И.Вернадского РАН

В МАЕ 1959 г. мой будущий муж, Игорь Александрович Виноградов, повез меня знакомить с родителями, которые тогда отдыхали под Москвой в санатории Академии наук «Узкое». В то время Александр Павлович был академиком, директором крупного института, Героем Социалистического Труда. Я очень волновалась перед встречей, пытаясь представить себе, как выглядит известный на весь мир ученый. Когда мы вошли в комнату, Александр Павлович что-то писал за большим письменным столом, стоящим у окна, сплошь уставленным стопками книг, папок, рукописей. (Тогда мне эта картина показалась странной, в отпуске было принято отдыхать. Впоследствии я сама заразилась этой «болезнью» — посвящать все свое время любимой работе.)

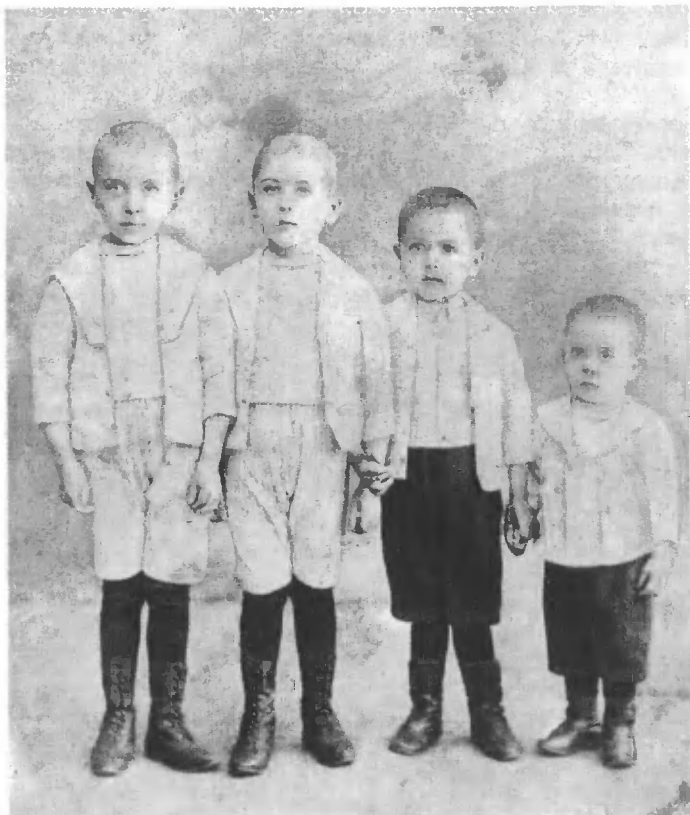
Немного в стороне, на диване, сидела с книгой жена Александра Павловича — Христина Густавовна. Прошло много лет, но я очень хорошо помню, как из-за стола навстречу мне поднялся голубоглазый человек небольшого роста, с необыкновенно мягкой, чуть тронувшей губы улыбкой. Он протянул мне руку, рукопожатие неожиданно оказалось сильным, что явно свидетельствовало о твердом и волевом характере. Подошедшая Христина Густавовна после нашего знакомства предложила чаю. Сразу было видно, что в молодости она была настоящей красавицей, но и теперь не потеряла привлекательности, а главное, светила добродетельностью. Мое волнение начало понемногу спадать, и я даже предложила разлить



Т.А. и И.С. Виноградовы.

чай. Христина Густавовна с присущей ей предусмотрительностью забеспокоилась, не обожусь ли я, на что Александр Павлович, лукаво улыбнувшись, напомнил, что химик должен уметь обращаться с приборами (в июне 1959 г. я заканчивала Московский химико-технологический институт им. Д.И.Менделеева). С того дня и до конца своей жизни родители мужа относились ко мне с редкой теплотой, не побоюсь сказать, что мы стали не только родственниками, но и настоящими друзьями. После смерти А.П.Виноградова по постановлению Президиума Академии наук в 1976 г. в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского (ГЕОХИ)

Братья Виноградовы. Слева — Александр. Санкт-Петербург, 1903 г. (?)



начал создаваться Кабинет-музей А.П.Виноградова. В его основе — мебель, научная библиотека и личный архив, переданные семьей институту. Организацию музея я полностью взяла на себя. Официальное открытие его состоялось в 1984 г. во время 27-й сессии Международного геологического конгресса, проходившей в Москве. С начала создания и до сегодняшнего дня я работаю в этом музее.

В своих заметках я не ставлю целью рассказать о всей многогранной жизни академика А.П.Виноградова, существует немало публикаций на эту тему¹. Мои воспоминания лишь о некоторых моментах в истории семьи, образе жизни А.П., его интересах. Правда, иногда придется коснуться и его научной деятельности, так как нельзя отделить жизнь А.П. от науки.

*

Те, кто хорошо знал Александра Павловича, считали его обаятельным человеком. Думается, секретом этого обаяния была его чуть застенчивая и деликатная манера держаться, присущая старой ленинградской интеллигенции; острая речь, неординарность мышления, чрезвычайно широкий кругозор, умение в обычном увидеть необычное.

Между тем А.П. происходил из семьи крестьян, переехавших в Петербург. Отец его служил в мебельном магазине, а мать была домохозяйкой (Александр — старший среди восьмерых детей). В 1907 г. А.П. окончил начальное городское училище, а в 1913 г. — школу лекарских помощников, после которой попал на военную службу. Затем: экзамен на аттестат зрелости при Кадетском корпусе, поступление в Военно-медицинскую ака-

¹ См., напр.: Маркелова Л. Познание мира. М., 1985.



Кружок «Микрохим». Слева направо, верхний ряд: Н.А.Гельд, Г.А.Разуваев, А.П.Матвеев, Б.П.Никольский, Б.Н.Долгов, А.П.Виноградов; нижний ряд: П.Н.Палей, П.В.Усачев, Б.В.Птицын. Петроградский университет. Начало 20-х годов.

демию и почти одновременно на химическое отделение физико-математического факультета Петроградского университета. (С детства А.П. привлекало все живое, он коллекционировал бабочек, пытался лечить ворон, но

особенно его интересовал химический состав организмов и растений.)

На студенческие годы приходятся встречи с людьми, во многом определившими жизнь А.П. Первые его шаги в химии поддерживает заведующий кафедрой химии в академии С.В.Лебедев. Под его влиянием А.П. поступает в университет. В 1922 г. Виноградов знакомится с В.И.Вернадским. На лекции, посвященной зарождению новой науки — биогеохимии, любознательный студент, задававший академи-

ку много вопросов, был приглашен на чашку чая к Вернадским, а с 1926 г. он уже работает под руководством великого ученого.

В университетском научном кружке «Микрохим», организованном друзьями Виноградова, впоследствии известными химиками Б.Никольским и Т.Разуваевым, А.П. обрел и личное счастье. «Прекрасная дама» кружка, студентка биологического отделения, выбрала именно его из целого ряда завидных поклонников. Гости на свадьбе, которую сыграли в 1926 г., рассаживались по специальности: с одной стороны — химики, с другой — биологи.

*

Титаническая работоспособность А.П. поражала всех окружающих. Совмещение научной работы с массой других обязанностей делало его рабочий день, который иногда продолжался 18—20 час., максимально плотным. Счет времени шел буквально на минуты. В 9.30 за ним приходила машина. Институт, Президиум академии наук, кафедра, заседания, деловые встречи, совещания, оперативки... И так в течение многих лет каждый день. Возвращался А.П. домой часов в 7—8 вечера (а судя по рассказам, в 40-е и 50-е годы — значительно позже). Чтобы он не терял времени в ожидании, пока накроют стол, обычно этому предшествовал звонок референта по Президиуму или институту, извещавший, что Александр Павлович выехал домой. После обеда А.П. продолжал работать допоздна: писал статьи, готовился к докладам и выступлениям. Много времени занимала и редакторская работа. Как организатор и главный редактор научных журналов («Журнал аналитической химии» и «Геохимия»), а также член редколлегий других научных и научно-популярных изданий (в том числе и «Природы»), он просматривал статьи, писал предисловия к редактируемым материалам. Готовился к лекциям по геохимии, которые читал для студентов 4-го и 5-го курсов геологического

факультета МГУ². Одним словом, выполнял ту работу, которой не мог заниматься в рабочее время в институте или Президиуме.

Телевизор смотрел, одновременно просматривая сводки ТАСС или другой материал. Но ради, например, «Кабачка 13 стульев» — популярной в 60-е и 70-е годы юмористической телепередачи — отвлекался от работы. Тут уж он смеялся от души. В кино А.П. почти не ходил. Помню один единственный случай в январе 1965 г.: вернувшись как-то с работы, он сказал, что хотел бы посмотреть фильм «Председатель» с Михаилом Ульяновым в главной роли, — уж очень много было восторженных отзывов о фильме. Пошли в «Ударник». Однако мнение А.П. оказалось неординарным. В музее хранится вырезка из «Вечерней Москвы» от 28 января 1965 г. с его заметкой «Так ли надо показывать прошлое». Привожу отрывок из нее: «...я далек от какого-либо разбора фильма, фабулы или характеров отдельных лиц. Это дело художественных критиков. Председатель достиг успеха, и, как говорят, победителей не судят. Я хочу сказать о тех переживаниях, которые возникли у меня, как только я покинул зал. Вначале я почувствовал смущение, а затем и обиду за то, что у нас после войны как-будто бы не оказалось никаких других способов восстановления колхозного хозяйства, кроме как прихода сверхчеловека. Получается, что простые люди оказались неподготовленными всей предшествующей жизнью к тому, чтобы самим проявить инициативу и волю.

А еще более стало обидно, когда я подумал: почему именно этот способ воспитания людей — жестокий, грубый — мы делаем предметом апологетического изображения?»

Сам А.П. очень ответственно относился к воспитанию молодежи, стремился вызвать интерес к научному творчеству. Он напутствовал молодых

² Когда А.П. бывал занят, его заменял в 70-е годы Алексей Андреевич Ярошевский, ныне ведущий курс геохимии в МГУ.



Х.Г. Виноградова. 1924 г.

коллеги: «Вырывайтесь из плена стандартных представлений. Наука — это прежде всего искусство мыслить. А если это искусство — то это мысли, эмоции, переживания...»³ И еще: «Можно выучить французский язык. Можно даже выучиться методу или способу мышления. Однако убежден, что ученый — это внутренняя врожденная логика. Это способность, граничащая с фантазией. Это, если хотите, страсть...»⁴

Талантливым молодым ученым Виноградов оказывал всяческое содействие и помощь — ему удалось, например, послать некоторых из них на стажировку в крупнейшие научные центры мира, что было в те времена далеко не просто. Так, еще в 1960 г. нынешний академик РАН, тогда старший научный сотрудник ГЕОХИ Б.Ф.Мясоедов был командирован на год в Институт радия в Париж, где работал в лаборатории профессора

М.Гайсинского, с которым у Александра Павловича были тесные научные контакты. А в 1973 г. старший научный сотрудник ГЕОХИ АН СССР Л.Н.Когарко была направлена на стажировку сроком на полгода в США в Пенсильванский университет. Лия Николаевна была первой женщиной, посланной за границу Академией наук.

Многие ученики Виноградова по кафедре геохимии МГУ и ГЕОХИ стали известными учеными. Это академики — И.Д.Рябчиков, Л.В.Таусон, В.Л.Барсуков, Б.Ф.Мясоедов, Ю.А.Золотов, Э.М.Галимов; члены-корреспонденты — Л.Н.Когарко, В.С.Урусов, А.И.Тугаринов; доктора наук — А.А.Ярошевский, Е.В.Бибикова, И.Л.Ходаковский, А.Т.Базилевский, В.М.Валяшко, Д.А.Минеев, В.А.Гриненко, Л.В.Дмитриев, Ю.А.Сурков и др. Я недаром коснулась педагогической деятельности Александра Павловича. Убеждена, что молодость души и юношеский задор он сохранил на долгие годы еще и потому, что постоянное общение с молодыми людьми, интересующимися наукой, просто не давало ему стареть. Даже в преклонном возрасте он совсем не выглядел стариком. Походка была твердой, быстрой. Он никогда не сутулился. Дома я не видела Александра Павловича в халате и тапочках. Это совершенно не вязалось с его обликом. Носил брюки и спортивную куртку, всегда готовый к работе. Но вернусь к воспоминаниям.

*

После программы «Время» пили чай. А когда вся намеченная работа была сделана, А.П., уже лежа в кровати, читал до 2—3 часов ночи. Но считал, что успевал прочитывать ничтожно мало. «Если допустить, — говорил он, — что книгу приблизительно в 300 страниц читать дней 5, то в месяц можно прочитать 6 книг, в год — 72, а за всю жизнь, если принять среднюю продолжительность сознательной жизни примерно за 50 лет (с 15 до 65), получится всего 3600 книг. Эта цифра, конечно, не идет в сравнение с огромным количеством издаваемой в мире литературы». Чита-

³ Правда. 1981, 9 февр.

⁴ Сов. Россия. 1965, 22 июня.

тельский интерес А.П. был четко определен — это современный зарубежный роман, так широко издававшийся в 60—70-е годы (Кронин, Мозм, Мориак, Ремарк, Арагон, Фолкнер, Гарди, Сароян, Олдридж и т.д.), книги из серии «Жизнь замечательных людей», по истории искусства, а в последние годы жизни — по истории религий (христианство, буддизм).

А.П. хорошо знал и любил живопись. В молодости увлекался рисованием. Но, к сожалению, сейчас мало что сохранилось от тех лет: лишь несколько карандашных набросков и портрет его младшей сестры Оли, написанный маслом, который находится в мемориальном Кабинете-музее А.П.Виноградова в ГЕОХИ.

Где бы Александр Павлович ни бывал, а ездил он достаточно много и по Союзу, и за границей, он всегда заходил в картинные галереи и музеи, привозил каталоги и книги по искусству. Одинаково восторженно рассказывал о Прадо и Лувре, о картинах Яна Матейко, украшающих актовый зал Львовского политехнического института. Был потрясен своеобразием древней культуры Мексики, особенно архитектурой и изобразительным искусством ацтеков.

В будни единственным временем общения с А.П. были те самые вечерние часы, когда он возвращался с работы и обедал. Для семьи это был ужин, и все собирались вместе. Это были удивительные минуты. Александр Павлович рассказывал академические новости, делился своими впечатлениями о проведенном дне, встречах, результатах работы, иногда предавался воспоминаниям. Помню, как однажды он рассказал о первом испытательном взрыве советской плутониевой бомбы на Семипалатинском полигоне. А.П. стал участником этого испытания, поскольку еще до войны был членом Урановой комиссии АН СССР. В Биогеохимической лаборатории он разрабатывал термодиффузионный метод разделения изотопов урана. Затем, начиная с 1946 г., А.П. был заместителем руководителя пусковой бригады Б.А.Никитина (заместите-



А.П.Виноградов. 1928 г.

ля В.Г.Хлопина по Радиевому институту АН СССР) и помощником И.В.Курчатову по аналитическому контролю производства. А.П. возглавлял аналитический контроль технологических процессов на ряде предприятий Первого главного управления. В течение длительного времени был председателем Аналитического совета ПГУ (позднее — Министерства среднего машиностроения СССР). Рассказывал А.П. также, что первое время персонал объектов плутониевого комбината работал без каких-либо средств защиты, на производстве полностью отсутствовал дозиметрический контроль. Поэтому никто не знал, как облучались люди, обеспечивавшие работу предприятий. Так Б.А.Никитин, который после смерти В.Г.Хлопина в 1950 г. стал директором Радиевого института, умер от лучевой болезни в 1952 г. в возрасте 46 лет, а сам Александр Павлович тогда потерял зубы.

В связи с этими работами Александра Павловича было принято в



Экспедиция БИОГЕЛ на Украину. Ловля насекомых в Староселье. 1928 г.

1947 г. решение создать институт на базе его Лаборатории геохимических проблем (новое название Биогеохимической лаборатории с 1943 г.). По предложению А.П. он был назван Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского.

*

А.П. отдал институту много сил и энергии. ГЕОХИ для него стал, как он сам говорил, родным домом. А.П. лично знал всех сотрудников, беседовал с каждым поступающим в институт. Интересовался темой будущей работы, а «неопределившемуся» рекомендовал, какое выбрать научное направление и лабораторию.

Многим А.П. помогал. Разбирая его архив, я часто находила письма со словами искренней благодарности. Но

особенно его помощь была действенной, когда ситуация требовала неординарного решения.

В 1935 г. в лабораторию поступил Кирилл Павлович Флоренский, сын известного русского ученого и религиозного философа Павла Александровича Флоренского. В довоенные годы Кирилл Павлович работал, в частности, лаборантом у В.И.Вернадского. Судьба так распорядилась, что Флоренский не получил высшего образования. Этому помешала и война: в 1942 г. он был призван в армию и вернулся с фронта только в 1946 г. В послевоенные годы Флоренский занимался газоносностью Сибирской платформы, собрал огромный материал. Эту работу Кирилл Павлович представил для защиты кандидатской диссертации. Но формально без диплома о высшем образовании он не мог быть допущен к защите. А.П. сделал почти невозможное — и степень кандидата наук Флоренскому была присуждена.

Благодаря усилиям Александра

Павловича в 60-е годы многие сотрудники института получили так необходимое им жилье в Москве. По предложению А.П. они сами строили дома. Виноградов в течение двух лет, несмотря на огромную занятость, всегда присутствовал на заседаниях жилищной комиссии ГЕОХИ.

При активной поддержке А.П. в 1968 г. институту выделили садовые участки в Кубинке и землю на северо-западном берегу оз. Селигер под базу отдыха, где сотрудники института отдыхают со своими семьями до сих пор.

*

Уклад нашей семьи был полностью ориентирован на А.П., чтобы создать ему благоприятную обстановку для работы дома. Так было заведено Христиной Густавовной, которая на протяжении всей их совместной жизни была для Александра Павловича единственной любимой женщиной, верным другом и коллегой по Биогеохимической лаборатории и ГЕОХИ. Эта удивительная женщина, добрая, ласковая, умная и образованная, окружила Александра Павловича трогательной заботой, и дома царила атмосфера любви, покоя и понимания той цели, которой служил ее муж. Отношения этих людей восхищали. Я была свидетелем, как нередко после обеда А.П. говорил Христине Густавовне: «Тиносик, посиди со мной». Александр Павлович работал за своим письменным столом, а Христина Густавовна садилась рядом в кресло и читала.

Разбирая архив А.П., я нашла фотографию Христины Густавовны, которую она подарила Александру Павловичу в 1924 г. с надписью: «На память о 1923 годе тому, без которого немалая жизнь». Убедена, что это были не просто пылкие слова влюбленной девушки. Это были слова о большом, на всю жизнь, чувстве. Фотографию Александр Павлович всегда носил с собой.

На долю Александра Павловича выпало пережить два больших горя. Это смерть младшего сынишки Володи,



На даче под Ленинградом с сыном Игорем. 1933 г.

ди, прелестного ребенка, которому не исполнилось и 5 лет, в Казани, во время эвакуации зимой 1942 г. Смерть Володи потрясла всех. Его хоронили всей Биогеохимической лабораторией. В дневниковых записях В.И.Вернадского 1942 г. читаем: «Под бременем известия о смерти маленького прелестного Володи Виноградова в Казани... Я боюсь, что физически Александр Павлович и Христина Густавовна не выдержат. Центр их жизни, и оба хрупкие. Не решаюсь им писать. А мысль с ними. Слова утешения — ничтожны. Надо писать»⁵.

Виноградовы не сообщили Вернадскому, который находился в эвакуации в Боровом (Казахстан), о постигшем их горе, боясь за слабое сердце Владимира Ивановича, но, узнав о случившемся, Владимир Иванович откликнулся на горе своих друзей. Он им пишет:

⁵ Архив РАН. Ф.518. Оп.2. Д.21. Л.63.



В Крыму с М.Д. и И.В.Курчатовыми. 1958 г.

«Боровое, 5.3.1942.

Дорогие, горячо любимые Александр Павлович и Христина Густавовна, дорогие близкие сердцу друзья.

Нет и не может быть утешения в том несчастье, которое постигло Вас — и нас всех вместе.

Уход из жизни прелестного, полного будущего, дорогого всем существа, столь много обещавшего, — не может быть принято с покорностью — должен образ его остаться в наших сердцах и в нашей памяти.

А мы все должны идти вперед по тому пути, по которому мы идем. В

нашей совместной работе — перед нами есть просвет — идти к той ноосфере, к неизбежному лучшему будущему — думаю не долго — человечеству, которое геологически неизбежно открывается в ноосфере.

В нашей совместной организованной жизненной работе мы можем и должны найти опору жизни, а не смерти и остановке.

Ваш всегда В.Вернадский»⁶

⁶ Переписка В.И.Вернадского с А.П.Виноградовым. 1927—1944 гг. М., 1995. С.280.

Смерть жены в 1961 г. Александр Павлович переживал очень тяжело. Мы с мужем старались сохранить его уклад жизни таким, каким он был при Христине Густавовне. Но эту потерю восполнить, конечно, было нельзя. Александр Павлович много работал, как и раньше, но все-таки в нем не чувствовалось прошлого юношеского задора. Так продолжалось примерно год. В сентябре 1962 г. он поехал в последний раз в Ялту, в санаторий «Нижняя Ореанда», как бы попрощаться с местами, где всегда отдыхал осенью вместе с Христиной Густавовной и своими друзьями М.Д. и И.В. Курчатовыми, К.С. и Н.В. Коноваловыми и др.

Это был последний отпуск в жизни Александра Павловича. Больше он отпуска никогда не брал. Только летом переезжал жить на дачу, что на Николиной горе, которую купил в 1951 г., получив почти одновременно две Государственные премии. С дачи каждый день ездил в Москву, работая еще больше и упорнее, чем прежде, как бы стараясь нагнать упущенное время. О Христине Густавовне при Александре Павловиче старались не говорить. Сам А.П. тоже вслух ее никогда не вспоминал. Это была как бы запретная тема. Но я уверена, что память о ней он хранил в своем сердце.

В 60-х годах забот у Александра Павловича становится еще больше: в 1963 г. он избирается академиком-секретарем Отделения наук о Земле АН СССР, в 1967 г. — вице-президентом АН СССР. На этом посту А.П. проработал восемь лет. В то время президентом был М.В. Келдыш. Их доверие и уважение было взаимным. В Президиуме говорили, что если документ визирует А.П., то Келдыш подписывал его не читая. Кроме того, Виноградов был председателем бесчисленных научных советов, комиссий; иностранным членом многих зарубежных Академий наук и обществ.

Сопровождая Александра Павловича в некоторых поездках за рубеж, в основном на Международные Гагушские конференции, постоянным участником ко-



На даче с Л.Д. и И.А. Виноградовыми и внуком Сашей. 1958 г.

торых он был, начиная с 1958 г., я видела, с каким уважением относились к нему зарубежные ученые. Как человек, принимавший непосредственное участие в создании атомного оружия, Александр Павлович активно выступал против использования открытий ученых в военных целях, против угрозы атомной войны.

Научная и гражданская принципиальность Виноградова была широко известна. Он никогда не использовал своего служебного положения в личных целях. Помню такой случай. На даче у нас холодильника не было. При жизни Христины Густавовны на лето набивали льдом погреб. Операция эта была очень хлопотная и дорогостоящая. Надо было по весне нанимать людей с лошастью и возить лед с Москва-реки большими глыбами. Льда



Пусковая бригада на объекте в Челябинске. Слева направо: Б.П.Никольский, Б.А.Никитин, И.Е.Старик, А.П.Виноградов. 1948 г.

последние годы так мечтал, но внезапная смерть оборвала все планы.

*

хватало обычно до середины августа. Холодильник не покупали, так как достать его было трудно. Со временем сруб над погребом сгнил, и погреб больше не держал холода. Я ждала ребенка (первый сын, Саша, родился в ноябре 1963 г.). Жить на даче летом с грудным ребенком без холодильника было трудно, и как-то во время обеда я попыталась Александру Павловичу сказать, что хорошо бы достать холодильник. На что он мне серьезно ответил: «Доктор (так же А.П. называл своих сотрудников; он никогда не пользовался при обращении словом «товарищ», считая его партийным термином; членом партии А.П. не был), если я буду заниматься холодильниками — мне некогда будет работать».

Своих внуков, а их было двое (второй — Алеша родился в 1974 г.), Александр Павлович обожал, но занимался с ними не так много, как бы хотелось. На все не хватало времени. Не хватило времени и на издание курса лекций по геохимии, о чем в

Хорошо помню 21 августа 1975 г. В тот день Александру Павловичу исполнилось 80 лет. Актовый зал ГЕОХИ был переполнен. Сюда пришли поздравить юбиляра сотрудники Института и кафедры, коллеги и ученики, друзья и родные.

По сложившейся традиции на общих собраниях Академии наук, на выборах, на юбилейных заседаниях, при вручении наград Александр Павлович всегда выступал с научными сообщениями. Так было и 21 августа. А.П. сделал доклад: «Образование металлических ядер планет». Это был его последний научный доклад.

После поздравлений, поблагодарив собравшихся за теплые слова, произнесенные в его адрес, Александр Павлович сказал: «В своей жизни я не мог пройти мимо науки. Жизнь дала мне счастливую возможность встретиться с такими выдающимися учеными, какими были В.И.Вернадский, И.В.Курчатов и М.В.Келдыш». Эти слова я запомнила слово в слово.

Юбилейная научная сессия и XIV Симпозиум по геохимии изотопов

Ю. А. Шуколюков,

доктор химических наук

Е. В. Бибилова,

доктор геолого-минералогических наук

В. Б. Поляков,

кандидат технических наук

Институт геохимии и аналитической химии

им. В.И.Вернадского РАН

Москва

Среди многих научных направлений особый интерес и неизменное внимание А.П.Виноградов проявлял к развитию геохимии изотопов. Хорошо понимая, что это не просто раздел геохимии, а особая, «другая» геохимия, поскольку фундаментальные физико-химические законы, стоящие в основе классической и изотопной геохимии, — различны. Поэтому именно А.П.Виноградов стал организатором в 1966 г. Всесоюзных симпозиумов по стабильным изотопам в геохимии, регулярно проводимых вот уже три десятилетия.

Сообщество российских и зарубежных ученых с большим интересом и вниманием отнеслось к Научной сессии и XIV Симпозиуму по геохимии изотопов, посвященным 100-летию со дня рождения А.П.Виноградова. В Москву съехались 120 ученых России, Украины, Эстонии, США, Германии, Франции, Японии, Канады. Было заслушано более 100 научных докладов. Это была блестящая иллюстрация развития идей А.П.Виноградова, дальнейшего углубления наших представлений о химии Земли и Космоса. Вместе с тем доклады наглядно продемонстрировали и те трудные и нерешенные проблемы, перед которыми стоит сейчас геохимия.

ХИМИЯ КОСМОСА

А.П.Виноградов хорошо понимал, что геохимия — это часть более общей науки — космохимии. Поэтому вполне оправдано то внимание, которое было уделено проблемам космохимии в программе юбилейных научных докладов. Обсуждались четыре основные проблемы: причины изотопной неоднородности вещества Солнечной системы; из какого вещества сформировались Земля и Луна; механизм образования Земли и ее оболочек; радиационная история вещества Солнечной системы. Остановимся подробнее на каждой из них.

Каковы причины изотопной неоднородности вещества Солнечной системы? В течение последнего десятилетия в космохимии было сделано и экспериментально обосновано выдающееся открытие: вопреки прежним представлениям Солнечная система сформировалась из вещества, неоднородного по изотопному составу. Причина такой изотопной неоднородности — присутствие в первичном веществе, которое сегодня представлено примитивными метеоритами — хондритами, минеральных частиц, образованных в оболочках звезд разного типа. В некоторых типах хондритов найдены также «ископаемые» органические молекулы. И они, и «звездные» минеральные частицы «мечены» огромными изотопными аномалиями.



Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН. Москва, Воробьевы горы.

Проблеме расшифровки ядерных процессов, в которых эти аномалии возникли, были посвящены доклады А.К.Лаврухиной, Г.К.Устиновой, В.А.Алексеева, С.В.Ассонова и др.

Из какого вещества сформировались Земля и Луна? В своем докладе «Формирование планетного вещества из протосолнечной небулы» Дж.Вуд (J.F.Wood, США) подчеркнул, что образование планет нельзя рассматривать в отрыве от процесса возникновения Солнца, в частности, и звезд вообще. Автор проанализировал процесс образования звезд и Солнца путем коллапса больших объемов межзвездного газа и пыли под действием «самогравитации». С точки зрения хондритовой гипотезы образования планет были рассмотрены различные стадии эволюции протосолнечной небулы, включая возникновение планетозималей, особенности распределения планет земной группы по плотности и предложен механизм образования хондр.

В докладе «О происхождении

Луны» Э.М.Галимов показал, что все разнообразие суждений о происхождении Луны может быть сведено к основной альтернативе: образовалась ли Луна из вещества мантии Земли (гипотеза Хартмана — Дэвиса — Камерона — Уорда (HDCW)) или она сформировалась независимо из первичного протопланетного вещества, близкого по составу к углистым хондритам (эта концепция обосновывается в докладе). Особенности содержания и распределения в оболочках Луны тугоплавких элементов, железа, гидрофильных элементов, а также связь химического состава с физическим строением Луны позволили сформулировать критерии, которые могут быть положены в основу разрешения обратной альтернативы. Например, показано, что гипотеза HDCW совместима только с существованием небольшого ядра (<0,4% от ее массы), в то время как вторая гипотеза требует существования относительно массивного ядра Луны (>5% от ее массы). Соответственно будущие исследования, направленные на решение проблемы происхождения Луны, должны включать: сейсмическое зондирование

с установкой сейсмометров как на видимой, так и на обратной стороне Луны, чтобы произвести ее акустическое просвечивание и установить наличие и размер ядра, строение мантии, распределение плотности; надежное определение теплового потока; определение наличия и состава легколетучих компонентов в «холодной лунной ловушке» на южном полюсе планеты. Для решения этих фундаментальных проблем необходима организация полетов космических аппаратов к Луне.

М.Жавуа (M.Javoy, Франция) в своем докладе «Интегрированная модель Земли и земных летучих» предложил модель, согласно которой Земля в основном построена из энстатитовых хондр. Это подтверждается тем, что единственными примитивными метеоритами, удовлетворительно соответствующими как изотопным, так и окислительно-восстановительным характеристикам Земли, являются энстатитовые хондриты, большинство элементов которых существуют в тугоплавких фазах.

Однако в докладе Ю.А.Шуколюкова «Новый тип фракционирования стабильных изотопов — геохимическое фракционирование их радиоактивных предшественников» приведены данные, которые свидетельствуют все-таки в пользу углистых хондритов как возможного аналога первичного вещества Земли. Автор остановился на обнаружении и исследовании эффекта разделения стабильных изотопов ксенона, криптона и, возможно, гелия в результате миграции их радиоактивных предшественников. Ю.А.Шуколюков привел экспериментальные данные, свидетельствующие, что наблюдаемое обогащение атмосферы изотопом ^{129}Xe и более тяжелыми его изотопами является следствием такой миграции. Это следует учитывать в моделях эволюции системы мантия—кора—атмосфера. Проблема изотопной аномальности ксенона атмосферы Земли, таким образом, находит свое объяснение. В докладе сделана оценка первичного изотопного состава ксенона Земли. Он оказался очень близок средневзвешен-

ному изотопному составу ксенона углистых хондритов. В последнем имеется лишь небольшой избыток нуклеонных легких изотопов ксенона.

Соревнование идей продолжалось. В докладе Л.К.Левского была рассмотрена изотопная космохимия благородных газов, на основе которой делается вывод о большей адекватности хондритовой модели Земли, позволяющей разрешить парадокс дефицита летучих элементов на Земле.

Очевидно, что нужны новые принципиальные данные, чтобы наконец решить эту многолетнюю проблему. **Каков был механизм образования Земли и ее оболочек?** К.Аллегр (C.Allegre, Франция) в докладе «Возраст и состав Земли» остановился на временном интервале аккреции Земли и продолжительности процессов формирования ее оболочек — ядра и атмосферы. Вопреки прежним представлениям, по последним прецизионным данным, полученным в лаборатории ученого, процесс аккреции Земли был растянут во времени и охватывал интервал 4.56—4.43 млрд. лет назад. Образование ядра Земли началось до завершения процесса аккреции, в его состав, помимо металлов, вошли также кремний, кислород, сера и углерод. Формирование атмосферы Земли также было растянуто во времени и началось до окончания процесса аккреции.

Какова радиационная история вещества Солнечной системы? Исследования в этой области затрагивают, с одной стороны, фундаментальные проблемы природы и закономерности космического излучения. Вместе с тем, здесь ключ к созданию эффективных и надежных методов изотопной космохронологии по космогенным изотопам. За последние годы в отечественной космохимии работа в этом направлении продолжена. В докладе В.А.Алексеева и Г.К.Устиновой рассмотрено поведение космогенных изотопов в метеоритах с разными радиационными возрастами¹. Показано, что долгопери-

¹ Время облучения метеорита в космическом пространстве.



С нобелевским лауреатом — немецким радиохимиком Отто Ганом на Первой Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии. 1955 г.

А.П.Виноградов и П.Л.Капица на 18-й Пагуошской конференции в Ницце. 1968 г.

одические вариации интенсивности галактических космических лучей, сравнимые по длительности с радиационными возрастными метеоритными, существенно искажают метеоритную хронологию. Предложены формулы, позволяющие учитывать влияние этого эффекта.

В ГЛУБИНЫ ЗЕМЛИ

Трудно переоценить вклад А.П.Виноградова в исследования глубинного строения и состава нашей планеты. Доклады, представленные на Научную сессию и Симпозиум по геохимии изотопов, ярко показали прогресс и в этой области геохимии и геологии.

И.Д.Рябчиков доклад «Флюидный режим мантийного магмообразования» посвятил поискам ответа на вопрос: сколько и каких летучих элементов содержится в мантии нашей планеты? Ключ к пониманию этой трудной проблемы — поиски корреляции, связи концентрации летучих и других компонентов в базальтовых стеклах и корреляции летучих с сидерофильными элементами в углистых хондритах. Именно эти метеориты составляют, по мнению многих исследователей, позднюю добавку космического вещества

на заключительной стадии аккреции Земли.

Условия генерации магм типа базальтов срединно-океанических хребтов оценены на основе компьютерного моделирования частичного плавления мантийного вещества. Расчетное давление начала плавления в сухой системе равно 27 кбар, но распределение микрокомпонентов в таких базальтах требует участия малой доли богатого карбонатами расплава, возникающего при давлениях около 40 кбар. Генерация более глубинных (богатых летучими) кимберлитовых магм происходит в нижней литосфере, лежащей под континентами. При этом вследствие инъекции малых порций очень глубинных (астеносферных) расплавов идет частичное плавление вещества, обогащенного летучими и химическими элементами с большими ионными радиусами.

Л.Н.Когарко в докладе «Щелочной магматизм в истории Земли», обобщив изотопные и геохронологические данные, предположила, что щелочной магматизм возник на рубеже 2.5—2.7 млрд. лет. Эта граница, архей—протерозой, — очень важная веха в истории Земли. Именно с ней связывают резкую смену геодинамического режима планеты — тектоника плюмов



(вертикальных потоков вещества из мантии) сменилась тектоникой плит (горизонтальных перемещений), хотя роль мантийных струй остается очень важной до настоящего времени. Именно на этом рубеже сформировалась кислородная атмосфера Земли. И как следствие взаимодействия кора—мантия — вовлечение в мантийные циклы летучих компонентов (H_2O , CO_2). В допротерозойское время в состав мантии, по-видимому, входила смесь метана и водорода. Появление окисленных летучих в мантии привело в свою очередь к стимулированию метасоматических (связанных с химическими процессами) явлений. Поскольку именно метасоматизированная окисленная мантия способна растворять и переносить огромные количества силикатного материала и особенно щелочных элементов, понятно почему щелочные формации начали возникать на рубеже архей—протерозой.

Г.Б.Удинцев в докладе «Идеи А.П.Виноградова о гетерогенности дна океана» отметил, что по представлениям А.П. дифференциация земного вещества начинается в низах мантии в результате радиоактивного разогрева, вызывающего лишь частичное плавление. Восходящая миграция выплавов происходит в процессе зонной плавки, процесс имеет пульсирующий характер и ведет к пространственной дезинтеграции первичных очагов плавления. Следствием являются эпизоды «выплескивания» на поверхности Земли лавовых полей, сменяемых локализованными разномасштабными, рожденными при огромных разломах земной коры, рифтогенными линейными телами сегментов подводных срединно-океанических хребтов.

Новейшие данные свидетельствуют о справедливости этих идей. Глубинность начала выплавления подтверждается присутствием в базальто-



У камеры луплого грунта в ГЕОХИ. 1972 г.

вых излияниях континентов и океанических окраин изотопа ^3He . Обширность первичных очагов плавления, не коррелирующих с границами литосферных плит, подтверждается данными сейсмической томографии. Гетерогенность строения океанических впадин и нелинейность процесса раскалывания коры над диапирами (скрытыми в глубинах огромными «пузырями» из магмы) демонстрируются результатами спутниковой альтиметрии и многолучевого эхолотирования.

Проблема взаимодействий в системе кора—мантия Земли, природа и источники вулканических процессов в свете изотопно-геохимических данных рассматривались во многих докладах симпозиума. Так, Ю.А.Балашов остановился на периодизации процессов смешения и дифференциации в мантии. Изотопный состав неординарно положен в основу выделения возрастных рубежей в архейском периоде, а также для обоснования многоцикличности

процессов дифференциации и смешения в мантии, для построения модели вертикальной геохимической стратификации верхней мантии.

В докладе Н.А.Титаевой предложена совмещенная диаграмма геохимических коэффициентов для определения источников вулканических магм.

Роль изотопов гелия в установлении природы источника современного магматизма продемонстрирована в докладе В.Б.Поляка с соавторами на примере района Приэльбрусья. Показана корреляция изотопного состава гелия с величиной глубинного теплового потока, свидетельствующая о новейшей разгрузке тепловых и массовых потоков из мантии в кору на Северном Кавказе.

ИЗОТОПЫ И РУДООБРАЗОВАНИЕ

Доклад Ю.Д.Пушкарева «Два вида взаимодействия корового и мантийного вещества: новый взгляд на проблему гранитообразования» явился переходным к обсуждению проблем рудообразования. В нем наряду с традиционным объяснением корово-мантийных

изотопных характеристик многих гранитоидов как результата смещения в пределах коры автор обосновывает модель образования гранитов вследствие преобразования и плавления корового вещества, погруженного в мантию. Модель предполагает образование дефицита летучих в мантии при взаимодействии корового и мантийного вещества проявлением мантийного метасоматоза с выносом в кору редкоземельных элементов и щелочей как из мантии, так и из погребенной коры. По мнению автора, это взаимодействие в пределах мантии может лежать в основе наиболее продуктивных рудообразующих систем, определяющих формирование уникальных глубинных меторождений, подобных Норильскому медно-никелевому и золоторудному месторождению Мурунтау.

Изучение Sm—Nd изотопной системы в вольфрамитах и флюоритах месторождений Приморья позволило Р.Ш.Крымскому с соавторами говорить о роли смешанных мантийно-коровых флюидов в формировании месторождений, причем ведущая роль отводится именно мантийному флюиду.

В работе А.В.Игнатьева, Т.А.Веливецкой, В.И.Гвоздева рудоматмическая система грейзеновых оловяно-вольфрамовых месторождений² и скарновых³ вольфрамовых месторождений были исследованы методами геохимии стабильных изотопов. Установлена природа флюида и соотношение вода—порода при формировании этих месторождений.

Н.М.Заири в докладе «Флюидные режимы образования золоторудных месторождений» рассмотрел на примере золото-углеродистой и золото-серебряной формаций флюидные режимы образования зон минерализации. На основе данных по изотопному составу кислорода и серы, газовой хроматографии и термобарогеохимии

установлены источники воды и сульфидной серы, показана роль геохимических барьеров, даны генерализованные изотопно-геохимические и физико-химические схемы развития золоторудных флюидов в системе источник—транзитная зона—зона разгрузки.

Совершенно новую идею о механизме образования алмазов предложил М.Озима (M.Ozima, Япония). В результате экспериментов, проведенных совместно с сотрудниками ГЕОХИ РАН, были выделены микроалмазы из карбурана — минерала, богатого ураном и углеродом. Микроалмазы в карбуране обнаружены высокочувствительным электронным микроскопом (США). Докладчик показал возможность образования микроалмазов путем взаимодействия α -частиц с углеродсодержащим веществом. По модели М.Озимы такая возможность существует и в углистых хондритах, подвергшихся воздействию ядерных излучений.

ОСАДОЧНАЯ ОБОЛОЧКА ПЛАНЕТЫ

В.Е.Хаин напомнил результаты многолетней работы по количественному анализу осадочной оболочки Земли — работы, активно поддерживавшейся академиком А.П.Виноградовым до самой его кончины. Еще в 1968—1969 гг. был издан уникальный 4-томный «Атлас литолого-палеогеографических карт СССР». В докладе В.Е.Хаина была показана последняя модель истории геологического развития Земли от архея до кайнозоя, основанная на обобщении новейших глобальных геологических данных⁴. Это очень интересное развитие работ А.П.Виноградова.

В изучении осадочной оболочки сегодня широко используются изотопные методы. Так, Ж. Вейзер (J.Veizer, Германия) в докладе «Стронциевая изотопная стратиграфия: потенциальное разрешение и корреляция событий» изложил методические основы Sr-изо-

² Месторождения цветных металлов, образованные при пневматолито-гидротермальном изменении горных пород.

³ Скарны — контактно-метасоматические породы, возникающие, как правило, на контакте карбонатных и силикатных пород.

⁴ Хаин В.Е. От тектоники плит к глобальной геодинамике // Природа. 1995. № 1. С.42—51.

топной хемотратиграфии фанерозоя, подчеркнул ее сравнительно высокую, хотя и варьирующую по разрезу разрешающую способность и специально остановился на тех участках кривой изменения отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в фанерозойском океане, которые требуют уточнения. Были приведены обильные оригинальные данные об изменении отношения изотопов стронция в карбонатных и девонских карбонатах западной части Германии.

Б.А.Соколов в докладе «Нефтеобразование — фундаментальная геологическая проблема» показал, что одна из особенностей процессов нефтеобразования — его высокая скорость. Об этом свидетельствуют, например, нефтепроявления в выработанных скважинах в традиционных районах нефтедобычи (Баку, Сев. Кавказ). Это позволяет надеяться на возобновление запасов нефти в уже разработанных месторождениях.

Возможности изотопной геохимии для палеореконструкций природной среды продемонстрированы в работах сотрудников Геологического института РАН В.И.Виноградова — в докладе «Изотопные признаки эпигенетических преобразований верхнедокембрийских осадочных породах Сибирской платформы» и Б.Г.Покровского — в докладе «Изотопные аномалии и изменения природной среды на границе кембрия и докембрия». В последнем показано, что появление древнейших скелетных животных связано с увеличением содержания CO_2 в атмосфере и, следовательно, пересыщением морской воды карбонатом кальция.

ГЕОХИМИЯ ИЗОТОПОВ И ЭКОЛОГИЯ

Современная изотопная геохимия решительно внедряется в одну из важнейших областей человеческой деятельности — исследование и сохранение окружающей среды. Блестящий пример этому доклад Р.Кроуза (R.Krouse, Канада). Усовершенствование масс-спектрометрической техники и разработка новых методических приемов позволили автору снизить

количество анализируемого образца серы с миллиграммовых до нанограммовых количеств, что открыло новые широкие перспективы изотопного исследования этого элемента. Например, стало возможным получение детального профиля изотопного состава серы вдоль одного волоска. Это позволяет по изотопному составу изучать тончайшие изменения в жизнедеятельности и среде обитания организмов. Подобные исследования нашли применение при изучении миграции животных, современной деятельности человека, ведущей к загрязнению окружающей среды.

В докладе М.Ю.Спасенных рассмотрены вопросы о пределах миграции радиоактивных изотопов ^{90}Sr и ^{137}Cs в подстилающих породах и донных отложениях водоемов. Работа выполнена в связи с необходимостью прогноза миграции радионуклидов в ряде водоемов Южного Урала, загрязненных отходами многолетней деятельности радиохимического комбината «Маяк».

Изотопные критерии возможности подземного захоронения радиоактивных отходов рассмотрены в докладе В.Т.Дубинчука, В.А.Полякова и Ю.Б.Селёцкого. Ими же исследован изотопный состав природных вод в зоне Чернобыльского следа и дан прогноз их радиозоэкологического состояния.

Интересным примером использования стабильных изотопов для решения экологических проблем, важных для жителей центральной части России, является доклад В.А.Гриненко, С.Д.Минеева и И.И.Волкова «Влияние антропогенного фактора на изотопный состав серы и углерода в осадках Рыбинского водохранилища». В работе рассмотрено влияние сброса промышленных стоков г.Череповца на изменение изотопных составов восстановленной серы, углерода, карбонатов и органического углерода в осадках Рыбинского водохранилища, оценены масштабы загрязнений и их влияние на интенсивности процессов фотосинтеза и сульфатредукции на акватории этого водоема.

ФУНДАМЕНТ ГЕОХИМИИ ИЗОТОПОВ

Помимо использования изотопных данных в самых разных областях геохимии и геологии перед специалистами-«изотопистами» стоит и другая, не менее важная задача: разработка теоретического фундамента собственно геохимии изотопов. В качестве примера таких исследований можно привести две важные работы.

В докладе В.Б.Полякова были рассмотрены новые подходы к проблеме расчета и экспериментального определения равновесных изотопных констант. Путем использования термодинамической теории возмущений удалось выразить равновесные константы в терминах кинетической энергии изотопнозамещаемого атома. Это позволило связать равновесные константы с экспериментально измеримыми величинами. В случае простых веществ такой величиной является теплоемкость, именно по экспериментальным значениям теплоемкости определены коэффициенты разделения изотопов в системе графит—алмаз. В общем случае удалось установить связь между равновесными изотопными константами (β -факторами) и температурным сдвигом (доплеровским сдвигом второго порядка) линий в мессбауэровских спектрах. На основе этой связи впервые проведена оценка масштабов фракционирования изотопов железа. Показано, что фракционирование изотопов железа является существенным и может быть надежно измерено современными методами вплоть до температур 1000 К. Это открывает широкие возможности для использования изотопов железа в геохимии и космохимии.

Г.Л.Шмидт (H.L.Schmidt, Германия) представил полученный им обширный экспериментальный материал по внутримолекулярному распределению изотопов углерода в биологических системах. Основываясь на определении равновесных констант изотопного фракционирования внутри молекул методом изотопических чисел связей, разработанным Э.М.Галимовым, Г.Л.Шмидт подробно и обстоятельно рассмотрел характер изотопных эффектов в ферментативных реакциях. Основной вывод автора заключается в присутствии термодинамической составляющей в изотопном эффекте ферментативной реакции. При этом в зависимости от кинетики реакции характер наблюдаемого изотопного эффекта может быть как термодинамическим, так и кинетическим.

Здесь упомянуты лишь немногие из интересных сообщений, сделанных на Научной сессии и XIV Симпозиуме по геохимии изотопов, посвященных 100-летию со дня рождения академика А.П.Виноградова. Это не анализ докладов и научных проблем, а лишь иллюстрация тех идей, той методологии, которыми сегодня живут ученые, посвятившие свои исследования дальнейшему прогрессу классической геохимии, геологии и изотопной геохимии. Мы надеемся, читатель почувствует — эта область знаний еще живет в нашей стране и, обладая большим творческим потенциалом, сможет снова занять ведущее положение в мировой науке, если государство окажет столь нужную сейчас поддержку.

Подборку материалов подготовили
М. Ю. Зубрева и Н. В. Ульянова

Золотая медаль имени П.Л.Капицы — Илье Пригожину

25 января 1996 г. в Посольстве Российской Федерации в Брюсселе была вручена высшая награда Российской академии естественных наук — золотая медаль им. П.Л.Капицы — выдающемуся ученому современности, лауреату Нобелевской премии по химии Илье Пригожину. Медаль присуждена «за фундаментальный вклад в теорию современного естествознания».

В зале присутствовали члены правительства и парламента Бельгии, представители бельгийской научной общественности. На церемонию награждения в Брюссель прибыла делегация Академии естественных наук во главе с ее президентом О.Л.Кузнецовым, который, выступая перед вручением медали, вспомнил парадоксальное высказывание американского философа Ральфа Эмерсона: «Строго говоря, истории нет — есть лишь биографии». Продолжив ту же линию, автор этих строк упомянул полотно Питера Брейгеля Старшего «Падение Икара», которым художник стремился передать удел одиночек, стремящихся к познанию в окружении сытой безразличной толпы. С таким непониманием сталкивался в своей творческой жизни и Илья Пригожин, поднимая руку на утвердившиеся догмы и закладывая фундамент для формирования нового научного мировоззрения. (См. краткую биографию И.Пригожина: Природа. 1993. № 12. С.11—12.)

Ниже публикуется выступление Ильи Пригожина.

© А.М.Блох
Москва

«Эта медаль — награда нашей школе»

И. Пригожин

Г-н посол,

г-н президент Российской академии естественных наук,

г-н ректор Свободного университета Брюсселя!

Дорогие друзья!

ВЕСЬМА признателен за высказанные в мой адрес дружеские слова. Не могу не выразить свою благодарность трем членам Академии, специально прибывшим из Москвы, чтобы вручить мне золотую медаль им. П.Л.Капицы. Я весьма польщен и тронут. Считаю, что эта медаль — награда всей нашей школе в Свободном университете Брюсселя. Я рад видеть здесь нескольких членов этой школы и среди них старейшего из нас, моего большого друга профессора Поля Гленсдорфа, и более молодого коллегу Иоанниса Антониу. Вручая мне сегодня награда как



Наградная золотая медаль им. П.Л.Капицы, учрежденная Российской академией естественных наук.

бы подводит итог многолетних исследований, начало которым было положено ровно полвека назад, в

1945 г., когда я впервые задумался над той ролью, которую играет ход времени. Время стало централь-

ной темой наших исследований на протяжении столь долгого периода, сначала на термодинамическом уровне, а затем на уровне фундаментальных законов динамики. XX век сделал иной картину мира. Мы живем в эпоху небывалого научного прогресса, быстрых изменений, в эпоху флуктуаций, неустойчивости, эволюции. Наша цель состоит в том, чтобы создать новый язык для описания диссипативных структур, хаоса, неустойчивости.

Наше время многолико. На обложке нашей с профессором Гленсдорфом книги «Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций», вышедшей в 1971 г. (русский перевод опубликован в 1973 г. — Ред.), изображен космический танец Шивы. В одной руке Шива держит барабан, который пробуждает к бытию мироздание, а в другой — пламя, уничтожающее мироздание.

Юность воспринимает только созидательную деятельность времени, но в более зрелом возрасте становится все более ощутимой его разрушительная активность.

Я весьма признателен г-ну послу и его коллегам за то, что они организовали эту церемонию в день моего рождения. Мой юбилей, естественно, наводит на несколько меланхолические размышления, но (и это главное) побуждает думать о будущем. Я полагаю, что прогресс нашего знания ныне имеет большее значение, чем когда-либо прежде.

Эта церемония не случайно происходит в посольстве России. Я бельгиец потому, что живу в Бельгии, сколько себя помню, и по дате натурализации, но корни мои — в России. Не могу не отметить, сколь сильное влияние оказала на западную культуру рус-

ская эмиграция. Вспомним хотя бы такие имена, как Стравинский, Шагал и Кандинский. То же можно сказать и о западной науке. Абрам Моисеевич Блох составил список лауреатов Нобелевской премии русского происхождения. Некоторые из них были вынуждены покинуть Россию сами, другие были увезены из России в детском возрасте родителями. Список получился весьма впечатляющим. Может быть, как сын эмигрантов я особенно остро ощущаю дыхание времени.

Г-н президент Академии естественных наук, удостоившей меня медали им. П.Л.Капицы! Вы доставили мне огромное удовольствие. Я лично знал Петра Леонидовича Капицу и неизменно восхищался им как выдающимся ученым и человеком исключительного мужества. Его письма к Сталину ныне опубликованы. Не знаю, сумею ли должным образом выразить те чувства, которые испытал при чтении этих писем. На меня произвело глубокое впечатление письмо, направленное Сталину в 1937 г.¹, в котором Капица писал, что советская наука оторвана от интересов народных масс. С годами она все более милитаризировалась, все более отдалялась от гражданского общества. Где найти достойные слова, чтобы оценить смелость Капицы?

Связь между наукой и обществом имеет существенное значение и в наши дни. Сегодня, принимая награду за все, что свершила в науке наша группа, я с глубоким удовлетворением констатирую, что в мире достигнуто гораздо лучшее понимание взаимосвязей между наукой и обществом, более полное использова-

¹ Речь, видимо, идет о письме от 10 июля 1937 г. (см.: Капица П.Л. Письма о науке. М., 1989. С.135—143).



Памятная медаль, выпущенная в 1995 г. в Бельгии к столетию Нобелевских премий.

ние в социальной и экономической сфере результатов научных исследований. Все это подтверждает, насколько был прав П.Л.Капица в своих размышлениях о роли науки и ее престиже.

Но пора заканчивать мое выступление. Для меня большая честь быть награжденным этой медалью, знаменующей собой взаимодействие между великой русской наукой, которой я желаю всяческого процветания, и бельгийской наукой. Заверяю вас, г-н посол, г-н президент, что я приложу все силы, чтобы еще более укрепить те дружеские связи между нашими странами, которые уже существуют.

© Перевод с французского
Ю.А.Данилова

Коростель — кандидат в Красную книгу России

В. А. Миноранский,

доктор сельскохозяйственных наук
Ростовский государственный университет

А. В. Добринов

Азов

В ОТРАДЕ журавлеобразных удивительным образом и, как представляется на первый взгляд, без достаточных на то оснований собраны внешне мало похожие, весом от 30 г до 15 кг, ведущие разный образ жизни, птицы: журавли и дрофы, трубачи и цапли, кагу и пастушки и т.д. Большое разнообразие входящих в отряд птиц — результат длительной эволюции (эти птицы известны с эоцена). К журавлеобразным относят и коростель (*Scolecophagus*) из семейства пастушковых. Эта небольшая (около 27 см в длину) птица ведет скрытый, преимущественно сумеречный и ночной образ жизни. При преследовании коростель предпочитает, не взлетая, убежать, ловко маневрируя в густой траве. Скрываться от врагов (в том числе от охотников) коростелю помогают не только быстрые ноги, но и окраска его оперения: на спине темно-бурая с оливково-серыми крапинками, снизу — пепельно-серая, крылья — буро-красные с желтовато-белыми пятнами. Птица эта отличается сильным, сжатым с боков телом, небольшим крепким клювом, выпуклыми крыльями и коротким, почти скрытым в перьях хвостом. Если не увидеть, то услышать коростеля можно в майские вечера, когда с лугов и полей доносится громкий двусложный скрипучий крик самца



Коростель.

(отсюда второе название — дергач). Гнезда коростель устраивает на земле, вырыв для этого ямку и выставляя ее травой. В кладке — от 7 до 12 яиц, которые высидит отважная самка, не покидающая гнезда даже в случае смертельной опасности.

Ареал этой некогда многочисленной птицы охватывает почти всю Европу и значительную часть Азии. В Западной Европе заметное уменьшение численности коростеля отмечается с начала XX в., что объясняется высокой плотностью населения, интенсивным использованием людьми практически всех земель, массовым отстрелом птиц охотниками. В наши дни коростель в Западной Европе столь редок,

что в большинстве стран точно подсчитано его количество¹. Так, в Нидерландах этих птиц около 100—250 пар, в Бельгии — около 25, в Дании — больше 100, в Великобритании — около 5 тыс. В последние десятилетия происходит снижение численности коростеля в Латвии и в большинстве районов европейской части России. В степной зоне (южной границе ареала) вопросы, связанные с изменением численности этого вида, не изучались.

Еще в начале нашего столетия известный русский орнитолог М.А.Мензбир писал про коростеля: «...в

© Миноранский В.А., Добринов А.В. Коростель — кандидат в Красную книгу России.

¹ Птицы СССР. Куроподовые, журавлеобразные. Л., 1987.

южной половине России это (коростель. — В.М.) чрезвычайно обыкновенная птица, крик которой невольно вспоминаешь каждый раз, как представляешь себе луговые площади наших южных губерний². В восточном Приазовье, куда входит и дельта Дона, в те времена коростель во множестве выводился повсюду — вдоль больших и малых рек, вблизи болот³. Это было характерно для степей бассейнов Черного и Азовского морей, выделяемых в понтийскую, или черноземную, провинцию. Высокая численность вида сохранялась здесь в довоенные и послевоенные годы, что отмечалось многими орнитологами и охотниками.

Южная граница ареала коростеля включает северное Приазовье, дельту и пойму Дона, Цимлянское водохранилище. Местами обитания его служат сырые луга с густой и высокой травой, болота среди лугов, окруженные осокой, ситником, кустарником в пойме Нижнего и Среднего Дона, Северского Донца, Тузлова, других рек. Значительно реже эти птицы встречаются в балках, на огородах, в заброшенных садах и еще реже на сельскохозяйственных полях с зерновыми культурами, люцерной в долинах рек.

До зарегулирования стока Дона пойменные луга периодически заливались паводковыми водами и отчасти слабо использовались людьми (частично — для выпаса скота, сенокоса).

Весной птицы, возвращаясь с зимовки, заселяли гнездовые территории сразу после спада паводков. При поздних и сильных разливах Дона (на 10—15 км и более) мы неоднократно видели плывущих коростелей — возможно, в воду попадали обессиленные перелетом птицы. Они плыли к берегу, где люди легко могли взять их в руки. Вода спадала, и на огромной площади пойменных лугов коростели находили удобные для размножения места.

После строительства Цимлянской и других плотин, зарегулирования стока Дона и других рек прекратились ежегодные разливы. Постепенно в пойме пересохла многие ерики и озера, понизился уровень грунтовых вод, на больших площадях появились солонцы и солончаки, на лугах начались процессы опустынивания, что повлекло изменение состава растительности. Луга стали использоваться для создания рыбоводческих прудов, рисосаения, огородничества, размещения различных хозяйственных строений, строительства дорог и т.д. А с 60-х годов стали интенсивно осваиваться даже прибрежные участки небольших степных рек, балок и других мест, подходящих для обитания коростеля. Особенно заметно эти негативные процессы в степной зоне проявились в последние два десятилетия, когда к прочим напастям добавилось сельскохозяйственное и промышленное загрязнение пойменных земель. В результате быстрого сокращения мест, пригодных для размножения коростеля, привело к снижению его численности на Нижнем Дону.

И все же в дельте Дона еще сохранились достаточно большие площади

естественных лугов, где коростель успешно размножается и остается пока обычным гнездящимся видом. С начала мая до середины июня брачные голоса коростелей по-прежнему привычно звучат на некоторых участках дельты, хотя и там по нашим наблюдениям численность этого вида в последние 30 лет заметно снизилась. Учет особей во второй половине мая 1995 г. в окрестностях г.Азова показал, что на площади 400 га обитает 25—30 пар (т.е. одна пара на 13—16 га). Тем не менее до сих пор эта территория остается одним из основных резерватов коростеля на Нижнем Дону.

По нашим наблюдениям отдельные пары птиц на протяжении нескольких лет возвращаются на одни и те же гнездовые участки, что облегчает исследования. Так, на лугу площадью 1.54 га мы наблюдали за двумя парами птиц с 1976 г. (расстояние между гнездами — около 140 м). По литературным данным, такая близость гнезд не характерна для вида. Возможно, коростелей привлекает богатая растительность луга, представленная тростником, осокой, овсяницей, тимopheевкой, клевером ползучим и луговым, щавелем конским, алтеем, цикорием и др. Ежегодно при западных ветрах этот луг подтопляется водой, а в отдельные годы затопление бывает сильным и кладки, вероятно, погибают. Обе пары гнездились здесь не каждый год по различным причинам, но птиц не пугала близость человека. По нашим наблюдениям коростель способен уживаться даже рядом с жилищем человека. Брачные голоса птиц постоянно можно было слышать на некоторых огородах (например, в х.Узяк).

² Мензбир М.Я. Охотники и промысловые птицы Европейской России и Кавказа. Т.1. М., 1900. С.464.

³ Алфераки С.И. // Орнитол. вестн. 1910. № 1. С.11—35; там же. № 2. С.73—93; там же. № 3. С.162—170; там же. № 4. С.245—252.

Коростель легко заселяет новые подходящие для него участки. Так, в 1980 г. на западной окраине г. Азова в канализационной трассе образовалась течь. В результате, прилегающий участок луга (площадью 300х50 м²) был частично затоплен, и через несколько лет здесь сформировалась специфическая растительность. В 1983 г. на этом участке уже гнездились несколько пар коростеля, а также 37 пар «краснокнижного» ходулочника, погоньши, камышница, травник. Сюда прилетали на кормежку и отдых стаи караваек (до 100 и более особей), большая и малая белые цапли, рыжая цапля, кваква (род цаплевых), кракva, чирок-трескунок, широконоска, различные кулики. Это все произошло в 250—300 м от жилых зданий и хозяйственных построек, а на самом лугу постоянно пасли скот, косили траву, ходили люди.

Анализ подходящих для обитания коростеля ландшафтов и длительные полевые наблюдения позволяют предположить, что в настоящее время в дельте Дона гнездится 700—800 пар коростеля — это значительная часть от общего его количества в европейских степях России, и это больше, чем сохранилось этих птиц в Нидерландах, Бельгии, Дании вместе взятых. Большие популяции коростеля сохранились на Цимлянском полуострове (около 600 км², Цимлянское водохранилище), где обитает много «краснокнижных» видов растений и животных⁴ (скопа, европейский туюк, орлан-

белохвост, стрепет, авдотка, ходулочник и др.). Обычен коростель в «Аксайском займище» на территории Новочеркасского, Аксайского, Багаевского и Октябрьского районов (площадь 30 тыс. га). Всего же на нижнем и среднем Дону, в пределах Ростовской области, сейчас гнездится 2500—3000 пар коростеля.

Быстрое сокращение количества коростеля во многих странах и даже полное его исчезновение в ряде районов арала заставили международную природоохранную организацию BirdLife International включить коростеля в мировой список глобально уязвимых видов птиц, нуждающихся в охране. В 1995 г. в России разработан проект «Коростель» по изучению и охране этого вида на территории нашей страны. На осуществление учета птиц Королевское общество защиты птиц (британский партнер BirdLife International) выделило специальный грант.

Ситуация с коростелем в Европе, быстрое падение его численности в нашей стране заставляют разработать и принять срочные меры по сохранению этого вида. Он относится к популярным объектам болотной дичи, и на него до сих пор ведется охота, тогда как современное состояние вида требует полного запрещения отстрела птиц охотниками. Большую пользу в его сохранении на Дону принесет создание сети особо охраняемых природных территорий⁵. Еще в 1985 г. мы предложили

основать в дельте Дона, где помимо коростеля размножаются орлан-белохвост, ходулочник, каравайка, перевязка и другие животные, вошедшие в «Красную книгу России», государственный заповедник. За прошедший период составлен, обсужден и обоснован в многочисленных организациях проект создания в дельте заповедного режима. Летом 1995 г. глава администрации Ростовской области после многочисленных согласований подписал проект создания в дельте государственного республиканского заказника. Сейчас проект находится в Министерстве охраны окружающей среды и природных ресурсов России. Заповедный режим необходимо создать и на Цимлянском полуострове. Существующий здесь республиканский заказник целесообразно расширить и перевести в разряд заповедника. В «Аксайском займище» предложено организовать областной заказник. В местах размножения коростеля, и прежде всего в дельте Дона и «Аксайском займище», необходимо регламентировать сроки (после выхода птенцов), способы (от центра к периферии участков), технические средства (применение на сенокосилках и комбайнах навесных отпугивающих животных устройств) уборки сена и сельскохозяйственных культур, оптимизировать интенсивность выпаса домашних животных.

Наша работа проводится при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

⁴ Белик В.П. Доно-Цимлянский песчаный массив: ландшафты, фауна и проблемы охраны // Кавказский орнитолог. вестн. 1991. № 2. С.111—116.

⁵ Миноранский В.А. К стратегии охраны природы в Ростовской области // Актуальные вопросы экологии и охраны природы степных экосистем и сопредельных территорий. Ч.2. Краснодар, 1994. С.218—219.

Космические исследования

Предстоящее картографирование Марса

Десятилетний план изучения Марса, недавно принятый НАСА США, предусматривает в качестве первого шага запуск в ноябре 1996 г. космического аппарата «MGS» («Mars Global Surveyor» — глобальный картограф Марса). К его созданию в начале 1995 г. приступила известная аэрокосмическая компания «Мартин-Мариэтта».

Аппарат будет обладать небольшой массой, но на его борту устанавливаются шесть из восьми научных приборов, аналогичных тем, что нес американский аппарат «Марс Обсервер», с которым была потеряна связь в августе 1993 г. Это оборудование впервые позволит построить с высокой разрешающей способностью подробные карты практически всей поверхности Марса, получить профили строения его атмосферы, а также изучать магнитное поле планеты. После запуска с помощью ракеты «Дельта II» аппарат проведет в полете 10 мес., прежде чем выйдет на полярную орбиту вокруг Марса в сентябре 1997 г.

Один оборот вокруг Марса аппарат будет совершать за 2 часа, причем орбита «MGS» синхронизована с положением Солнца так, чтобы оно находилось под «стандартным» углом над горизонтом на каждом из получаемых изображений планеты, а полуденное освещение давало тень, по-

зволяющую четко различать объекты съемки.

Собственно съемка должна начаться в конце 1998 г. и продлится в течение полного марсианского года, который равен примерно двум земным. Затем на протяжении еще трех лет аппарат будет служить ретрансляционной станцией для радиосигналов, направляемых на Землю посадочными отсеками других космических аппаратов, посланных к Марсу как США, так и другими странами.

Полная программа предусматривает запуск к Красной планете по одному аппарату каждые 26 мес., начиная с 1996 г. и вплоть до 2005 г.

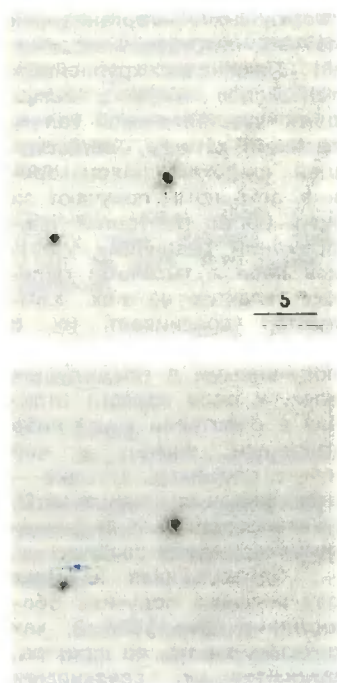
Spaceflight. 1995. V.37. № 3. P.77 (Великобритания).

Космология

Сверхстарая сверхновая

Эта игра слов тем не менее точно отражает истинную ситуацию: международная группа астрономов с помощью 4-метрового телескопа Межамериканской обсерватории Серро Тололо (Чили) 30 марта 1995 г. обнаружила самую далекую, а следовательно, и самую старую из когда-либо наблюдавшихся вспышку сверхновой звезды¹. Она произошла в далекой безымянной галактике, имеющей красное смещение 0.478.

¹ Press Release ESO 09/95 от 17 августа 1995 г.



Сверхновая 1995K. На верхнем изображении, полученном 24 апреля 1995 г., она видна чуть выше и правее расположенной в центре снимка галактики; на изображении, полученном 28 мая 1995 г. (нижний снимок), ее уже не видно. ESO PR Photo 09/95.

Это означает, что галактика удалена от нас примерно на 6 млрд. световых лет, т. е. взрыв сверхновой произошел в ней 6 млрд. лет назад — за миллиард лет до рождения Солнечной системы!

Обнаружение далекой сверхновой стало результатом планомерного поиска таких объектов. Дело в том, что в максимуме своего блеска эти звезды имеют примерно одинаковую яркость, а значит, могут слу-

жить стандартным источником для определения расстояния до галактики. Это очень важно для космологических исследований скорости расширения Вселенной. Поэтому поиск далеких сверхновых организован сейчас «поточным методом»: на одном из крупнейших телескопов мира с помощью чувствительной электронной камеры, обладающей широким полем зрения, астрономы получают за ночь более полусотни изображений различных участков неба с тысячами далеких галактик на них. Компьютер сравнивает их с такими же изображениями, полученными в предыдущие ночи, и если находит отличия в очертании какой-либо галактики, значит, в ней что-то случилось. Обычно — это вспышка сверхновой, знаменующая собой предсмертный взрыв звезды.

Обнаруженная на этот раз вспышка получила обозначение SN 1995K и, как показал анализ ее спектра, относится к сверхновым типа Ia. (Такие вспышки происходят в тесных двойных системах в результате аккреции вещества нормальной звезды на белый карлик.) В максимуме блеска она имела 23-ю звездную величину и была видна на расстоянии всего лишь в 1 угловую секунду от центра своей галактики. Для исследования такого объекта потребовалось высокое искусство наблюдателей.

Поиск рекордно далеких вспышек сверхновых предпринимается для того, чтобы точно измерить скорость расширения Вселенной и, что не менее важно, темп замедления этого расширения. Эти две величины наиболее полно характеризуют историю нашего мира и его будущее. Они позволяют судить о средней

плотности вещества во Вселенной, которое своим притяжением как раз и замедляет разбегание галактик. Чем дальше от нас вспыхивает сверхновая, тем она старше, а значит, лучше отражает изменение скорости расширения Вселенной со временем. Правда, одной далекой сверхновой еще не достаточно, чтобы делать надежные космологические выводы. Для увеличения точности измерений астрономам желательно было бы зарегистрировать несколько десятков таких событий. К сожалению, больших телескопов в мире мало, а интересных задач для них — много. Но «поточный метод» поиска сверхновых обещает уже в ближайшие два года дать в руки ученых необходимый материал.

© В.Г.Сурдин,

кандидат физико-математических наук
Москва

Астрономия

Семнадцатая комета Брэдфилда

Вечером 17 августа 1995 г. известный австралийский «ловец комет» У.Брэдфилд (Bradfield) открыл свою семнадцатую комету. Он обнаружил ее в южном созвездии Чаша в виде объекта 6-й звездной величины с хвостом длиной чуть более 1 градуса (т.е. в два лунных диска).

По профессии Брэдфилд военный инженер и при этом страстный любитель астрономии. Он прославился в 70-х годах, открыв десять комет и тем самым нарушив «японскую монополию», сложившуюся к тому времени (многие по-

*Комета 1995 Q1 (Брэдфилда).
ESO Press Photo 23/95.*



мнят яркую комету Икейя-Секи 1965 и другие «японские» кометы 60-х годов).

Новая находка Брэдфилда, получившая временное обозначение «Комета 1995 Q1», оказалась сложна для наблюдений, поскольку была видна всего в 30 градусах от Солнца. Тем не менее, получив телеграмму первооткрывателя, астрономы Европейской южной обсерватории в Чили сделали портрет кометы с помощью 3.5-метрового телескопа. На фото видна слегка вытянутая голова кометы и начало очень длинного узкого ионного хвоста, скручивающегося под действием солнечного ветра. Заметны также несколько выбросов вблизи головы кометы в том же общем направлении.

Исследователи получили и спектр головы кометы, в котором ярко выделяются линии молекулы углерода C_2 — так называемые полосы Свана, открытые лет сто назад английским спектроскопистом У.Сваном (1828–1914).

Новая комета Брэдфилда — очередной вклад любителей астрономии в копилку науки.

ESO Press Release 10/95.

Химия атмосферы

Как «избавиться» от хлорфторуглеродов?

После подписания в 1987 г. международного Монреальского протокола производство разрушающих озон газообразных хлорфторуглеродов во всем мире сильно сокращено. Однако в земной атмосфере этих веществ уже накопилось значительное количество и они продолжают посту-

пать от кондиционеров и холодильных устройств устаревшего типа и при использовании старых запасов аэрозолей.

Хлорфторуглероды поддаются разложению с большим трудом: они негорючи и неактивны, что, собственно, и обусловило их применение в холодильниках, теплоизоляционных пенах и аэрозолях на протяжении последних 40 лет. Известные к настоящему времени способы избавления от них, например с помощью высоких температур и струй горячих ионизованных газов, весьма дорогостоящи.

Недавно принципиально новый и экономичный метод предложили японские химики под руководством И.Нагата из Института высших научных и технических исследований при Осакомском университете. Они установили, что газообразные хлорфторуглероды можно успешно разлагать в водной среде при комнатной температуре, подвергая их воздействию ультразвуковых волн.

Одно из наиболее распространенных таких веществ $CFC-113$ (его формула $C_2F_3Cl_3$), будучи обработанным ультразвуковыми импульсами с частотой 200 кГц, вступает в реакцию с водой и образует газы — оксид и диоксид углерода, а также хлористоводородную и фтористоводородную кислоты, избавиться от которых достаточно легко. В эксперименте 80% этого хлорфторуглерода разложилось всего за полчаса, при этом температура воды повысилась с 22 до 30°C.

Авторы метода предполагают, что под влиянием ультразвуковых колебаний в воде начинается процесс кавитации: образуются мельчайшие пузырьки, кото-

рые мгновенно лопаются, вызывая вокруг себя резкий подъем температуры и давления. В этих условиях молекулы воды распадаются с образованием высокоактивных радикалов ($OH\cdot$). Они-то и разрушают молекулы хлорфторуглерода. Японские экспериментаторы сумели показать, что разложение происходит именно в пузырьках, а не в массе воды.

Chemistry Letters. 1995. P.203 (США); New Scientist. 1995. V.146. № 1979. P.20 (Великобритания).

Физика

Подтвержден двухступенчатый депиннинг вихрей сверхпроводника

Сверхпроводник второго рода в магнитном поле пронизан гексагональной решеткой квантованных вихрей. Протекающий ток действует на вихревые нити с силой Лоренца, но движению решетки препятствует зацепление ее за дефекты материала (пиннинг). Когда плотность тока превосходит определенную «критическую», решетка освобождается от этих связей и начинает двигаться, рассеивая энергию и разрушая сверхпроводимость образца.

Микроскопическая природа этого процесса все еще плохо изучена; в частности, мало что известно о детальной структуре решетки вихревых нитей в момент отрыва. Группа сотрудников (U.Yaron et al.) из Bell Laboratories (США) и Национальной лаборатории Рисе (Дания) использовали в своих экспериментах рас-

сеяние нейтронов на малые углы, чтобы исследовать структуру решетки вихрей NbSe_2 в присутствии постоянного тока и постоянного магнитного поля, параллельного пучку нейтронов.

Из экспериментов по рассеянию нейтронов в принципе можно выделить три длины когерентности, две из которых перпендикулярны вихревым нитям, а третья (ϵ_L) соответствует корреляции в направлении вдоль вихрей и обратно пропорциональна ширине брэгговских максимумов. Из результатов, снятых в поле 0.15 Тл, видно, что длина когерентности ϵ_L при нулевом токе составляет ≈ 11 мкм и сначала практически не изменяется с ростом тока. Затем, по мере приближения тока к критическому, падает до 9 мкм и, наконец, после разрушения сверхпроводимости резко возрастает и становится более 50 мкм, что составляло предел измерений. Это подтверждает теоретические предсказания А.Е.Косшелева и В.М.Винокура о существовании трех режимов поведения решетки вихрей: неподвижность, неупорядоченное пластическое движение и, наконец, — при больших токах — движение решетки вихрей как целое.

Еще одним доказательством того факта, что режим пластичного движения отличается от двух предельных режимов, служит форма брэгговских максимумов, которая в предельных случаях — лоренцева (соответствует экспоненциально спадающей корреляции), а в промежуточном — имеет более высокие крылья (отвечает локальному разупорядочению).

Nature. 1995. V.376. № 6543. P.753—755 (Великобритания).

Физика

Спиновые модификации воды

Спиновые модификации воды (орто- и парамодификации H_2O) так же, как орто- и параводород (H_2), различаются направлением спинов двух протонов в молекулах. В ортомолекулах воды или водорода спины протонов (ядер водорода) параллельны, в парамолекулах — антипараллельны. Известно, что со спином элементарных частиц и ядер связаны спиновые магнитные и другие квантовые характеристики частиц и ядер. Соответственно, по этим параметрам отличаются протоны в орто- и парамолекулах водорода и воды, и эти различия могут быть использованы для разделения модификаций. Однако указанные эффекты столь малы, что могут проявляться только при очень низких температурах, когда тепловое движение не маскирует их.

В самопроизвольно устанавливаемом равновесном состоянии вода содержит 75% ортомолекул и 25% парамолекул. Задача разделения молекул воды на спин-модификации была поставлена еще в 30-е годы, после того как удалось разделить орто- и параводород путем глубокого его охлаждения в газообразном состоянии до температур, при которых существуют различия в величинах вращательного кванта спин-модификаций водорода. Попытки разделения воды таким же способом оказались безрезультатны. Причинами неудач были небольшие, в сравнении с водородом, вращательный квант и значительно более высокая температура конденсации паров воды.

Более успешными были попытки разделения воды на спин-модификации, предпринятые В.К.Конюховым, В.П.Логвиненко и В.И.Тихоновым (Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН) на основе обнаруженного ими в 1986 г. эффекта вращательно-селективной конденсации молекул воды в сверхзвуковом потоке CO_2 . Спектроскопические исследования сверхзвукового потока CO_2 , содержащего небольшие примеси паров воды, показали, что при конденсации в потоке в конденсат переходят преимущественно молекулы параводы. Газовая фаза потока при этом обогащалась молекулами ортоводы. Вымораживанием паров из такой газовой фазы можно получать воду, обогащенную ортомодификацией. Концентрации различных модификаций в обогащенной воде определяются по различным линиям вращательного спектра молекул воды.

Очевидно, что вода, обогащенная одной из спин-модификаций, является неравновесной и должна спонтанно релаксировать к равновесному состоянию. Время релаксации, называемое временем спин-конверсии, для воды, обогащенной одной из спин-модификаций, было определено в газовой, жидкой и твердой фазах. Оказалось, что обогащенная по одной из модификаций вода релаксирует к равновесному состоянию с характерным временем порядка 45 мин при комнатной температуре. Это время близко к времени установления равновесного изотопного состава после смешения обычной и тяжелой дейтерированной воды, равного 1 час. Известно, что установление равновесного изотопного состава происходит через диссоциа-

цию молекул H_2O и D_2O на радикалы H , OH , D , OD с последующей рекомбинацией радикалов в молекулы H_2O , D_2O , HDO . Близость времен спин-конверсии и релаксации изотопного состава позволяет предполагать, что процессы установления равновесного состава в обоих случаях идут по одинаковым механизмам через диссоциацию молекул воды и рекомбинацию радикалов. Не исключено также, что спин-конверсия в воде дополнительно идет по механизму переориентации спинов протонов без диссоциации молекул, как и в случае с водородом. Об этом свидетельствует уменьшение времени спин-конверсии воды в присутствии примесей парамагнитных веществ. Для льда при температуре жидкого азота ($-198^\circ C$) время спин-конверсии существенно больше (4.5 мес.).

Краткие сообщения по физике, ФИАН. 1995. № 5—6. С.83—86.

Биология

Хищные губки и метанотрофные бактерии

Сообщества, основанные на симбиозе морских животных с хемоавтотрофными бактериями, существование которых базируется на выделениях соединений серы или метана на морском дне, достаточно обычны в Мировом океане¹. Симбиотических бактерий находили в погонофорах и двусторчатых моллюсках, на ротовых частях гидротер-

мальных креветок². И вот впервые метанотрофные бактерии были найдены в губках.

Cladorhiza sp. принадлежит к удивительной группе глубоководных губок, перешедших от «тихой» фильтрации к хищничеству — их скелетные спикулы превратились в крючья, способные улавливать планктонных рачков³. Но оказалось, что они замечательны не только этим. Группа французских и американских ученых на глубоководном обитаемом аппарате «Наутилус» обследовала грязевой вулкан на дне Барбадосской котловины в Атлантическом океане (глубина 4943 м). Там происходит активное выделение метана, и его концентрация в осадках очень высока. На этом вулкане они обнаружили огромное скопление губок-кладориз — на поверхности «нормального» дна такие губки встречаются лишь поодиночке. Здесь же сотни особой образовали плотные заросли, похожие на кусты до 1.5 м в диаметре и почти до 0.5 м в высоту. Возникло подозрение, что столь большую биомассу губки смогли нарастить благодаря бактериям-симбионтам.

Исследование под электронным микроскопом показало, что в телах губок, поднятых с поверхности грязевого вулкана, живут два вида бактерий — коккоподобные и более мелкие овальные. Кокки имеют ха-

актерные «пачки» мембран в цитоплазме, обычные для метанотрофных бактерий. Обнаружены бактерии как в межклеточном пространстве губок, так и внутри их пищеварительных клеток-фагоцитов (в этом случае они были частично переварены). Эти же бактерии присутствовали и в клетках эмбрионов, найденных в изучаемых губках, причем ни малейшей деградации бактерий там не наблюдалось. Таким образом, существует механизм прямой передачи симбионтов к новым поколениям губок.

Есть надежный способ установить присутствие в рационе животных хемосинтезированной органики: в ней содержится иная доля легкого изотопа углерода ^{13}C , чем в «обычной» (фотосинтезированной). Соответственно отличается эта доля и в тканях усвоившего такую пищу организма. Анализ на ^{13}C подтвердил участие хемоавтотрофов в питании кладориз. Дальнейшие исследования показали наличие ферментов, необходимых для метанотрофных бактерий, и отсутствие ферментов других возможных кандидатов в хемоавтотрофные симбионты — сульфатредуцирующих бактерий.

В свое время переход к хищничеству позволил губкам-кладоризам заселить абиссальные глубины океана, образование же симбиотических связей с автотрофными бактериями позволило им использовать принципиально новый пищевой ресурс и давать резкие всплески численности в местах выхода метана на морском дне. Это говорит о крайне высокой экологической пластичности таких животных.

Nature. 1995. V.377. № 6547. P.296 (Великобритания).

² Пименов Н.В. и др. Трофическая специализация креветок-бразилиид в гидротермальном сообществе ТАГ. Докл. АН. 1992. Т.323. № 3. С.567—571.

³ Vacelet J., Boury-Esnault N. // Nature. 1995. V. 373. № 6512. P.333—335; Несис К.Н. Хищные губки // Природа. 1996. № 1. С.70—71.

¹ Подробнее см.: Сагалевиц А.М., Москалев Л.И. Хемобиос на дне Тихого океана // Природа. 1991. № 5. С.33—40.

Биология

Зачем буревестнику обоняние?

Принято считать, что для птиц наиболее важны зрение и слух, а обоняние играет чрезвычайно малую роль в их чувственном восприятии. Есть, правда, исключения вроде ночного, и потому слабовидящего, новозеландского киви или нашего вальдшнепа, который умело использует обоняние при поиске пищи в травяной подстилке или верхнем слое почвы — там, где глаза бесполезны. У прочих даже основной орган обоняния (небольших размеров участок эпителия в глубине носовой полости, снабженный чувствительными клетками) развит слабо. Кроме того, по некоторым данным, у птиц отсутствует добавочная обонятельная система, связанная с дополнительным (вомероназальным, или Якобсоновым) органом обоняния. Он представляет собой два небольших кармашка, расположенных с обеих сторон в основании носовой перегородки, и обнаружен почти у всех позвоночных — от амфибий до высших млекопитающих, включая человека. У птиц Якобсонов орган, видимо, закладывается в эмбриогенезе, а у взрослых — дегенерирует. (Это предположение требует, однако, дополнительной проверки, поскольку долгое время его считали правильным и в отношении человека, но ошибались.) Тем больший интерес представляют сведения, что и среди птиц существуют «специалисты» по части обоняния, например буревестникообразные.

Многие птицы из этого отряда проводят большую

часть жизни в полетах над поверхностью океана, лишенной зрительных ориентиров. Не действуют здесь и акустические ориентиры: если бы рыбы и мелкие ракообразные (креветки), которыми питаются эти птицы, умели издавать громкие звуки, их трудно было бы расслышать за шумом волн. Тем не менее альбатросам и буревестникам удается не только прекрасно ориентироваться, но и добывать себе пропитание. Секрет их успеха оставался неразгаданным, хотя уже давно предполагалось, что они способны находить добычу по запаху.

Американские этологи Г.Невитт (G.Nevitt; Калифорнийский университет), Р.Вейт, П.Карейва (R.Veit, P.Kareiva; Вашингтонский университет) предположили, что птицы в качестве ориентира при поиске пищи используют запах летучего вещества — диметилсульфида (ДМС)¹. Возможно он вырабатывается фитопланктоном как отпугивающее средство или высвобождается при разрушении клеток водорослей. Но не исключено, что выделяющийся ДМС — результат их переваривания зоопланктоном или деятельности микробов, развивающихся на фекальных остатках. Как бы то ни было, запах ДМС указывает на скопление зоопланктона, который питается водорослями, а сам служит пищей морским птицам. Но могут ли птицы воспринимать этот запах?

Обонятельные способности альбатросов и буревестников были проверены в натурных опытах. Небольшие участки поверхности океана покрывали пленкой, пахнущей ДМС. Но поскольку

ку ее пятна имеют маслянистый вид, а значит, могут одновременно служить и зрительным ориентиром, рядом для контроля помещали пленки без этого запаха. Этологи предположили: если птицы действительно реагируют на ДМС, они будут чаще пролетать и опускаться на воду вблизи пахучих пятен. И действительно, запах ДМС оказался привлекательным для многих видов птиц, включая белобородого буревестника (*Procellaria aequinoctialis*), однако другие птицы, например чернобровый альбатрос (*Diomedea melanophrus*), не отличали пахучую пленку от контрольной.

В другом эксперименте этологи просто разбрызгивали аэрозоль ДМС (для контроля — воду) и подтвердили, что именно запах ДМС заставляет белобородых буревестников лететь за кораблем в поисках источника запаха, но оставляет равнодушными чернобровых альбатросов.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными по биологии этих видов птиц. Альбатросы (не реагировавшие на запах ДМС) — дневные, хорошо видящие птицы. Буревестники же отличаются менее совершенным строением сетчатки глаза и, кроме того, нередко охотятся ночью, когда обонятельные стимулы становятся особенно ценными.

Авторы подчеркивают, что, несмотря на различное отношение буревестникообразных птиц к запаху ДМС, все исследованные виды обладают удивительно крупным и сложно устроенным органом обоняния. Поэтому отсутствие реакции на это вещество может и не быть свидетельством неспособности к восприятию его запаха. Возможно, для

¹ Nature. 1995. V.376. № 6542. P.680—682.

одних видов он менее привлекателен, поскольку в их рационе зоопланктон занимает не столь важное место, или они располагают другими, пока не известными, но эффективными способами поиска пищи.

Ориентация с помощью обоняния дает очевидные преимущества морским птицам. Особенно если учесть, что запах ДМС может сохраняться в течение нескольких часов, а то и дней. Таким образом, птицы, воспринимающие этот запах, могут ориентироваться по нему в ходе сезонных миграций, которые всегда были загадкой для исследователей. Высказывалось предположение, что голуби также могут находить дорогу по запаху, однако таинственный аромат, который они используют для этого, пока неуловим для исследователей.

© В.И. Гулимова,
кандидат биологических наук,
Москва

Зоология

Новый род амфибий найден в музее

На Земле все меньше остается диких позвоночных животных, и все меньше — неизвестных науке. Если описания новых видов позвоночных изредка все же публикуются, то новые таксоны более высоких рангов (роды, семейства) появляются, как правило, не в результате новых находок в природе, а при пересмотре прежних взглядов на родственные отношения известных видов. И все-таки возможности открытий принципиально новых позвоночных животных еще не исчерпаны. Иллюстрация тому —

находка герпетологов Р. Нуссбаума (R.A. Nussbaum; Мичиганский университет, США) и М. Уилкинсона (M. Wilkinson; Бристольский университет, Великобритания). Правда, свое открытие они сделали не в природе, а в Венском музее естественной истории, «проводя ревизию» хранящихся там червяг.

Червяги, или безногие амфибии — один из трех ныне живущих отрядов земноводных, наряду с бесхвостыми и хвостатыми. Другие два представлены лягушками, жабами, тритонами, саламандрами, которых знают все, а вот червяги (Gymnophiona) — очень специфическая, малоизученная, знакомая лишь специалистам группа земноводных. По новейшим данным в мире насчитывается около 160 видов безногих земноводных, причем большинство из них известны лишь по 1–2 экз.; их биология и образ жизни остаются совершенно неизученными. Гимнофионы — обитатели тропиков, большая часть из них ведет роющий образ жизни, но есть водные и полуводные. Они имеют простую червеобразную форму (отсюда и их название), скудный набор внешних признаков, самые крупные достигают в длину 1.5 м.

В 1968 г. в Южной Африке был обнаружен и помещен в музей новый вид водных червяг, получивший название *Typhlonectes eiselti*. Однако тщательное исследование Нуссбаума и Уилкинсона выявило удивительное обстоятельство: южноафриканский экземпляр в отличие от других видов этого рода оказался совершенно лишенным легких!

До сих пор случаи полного отсутствия легких и

перехода на кожное дыхание были известны только среди хвостатых земноводных — это целое семейство безлегочных саламандр. Полная зависимость от кожного газообмена предполагает либо очень мелкие размеры животного, либо пониженный общий уровень метаболизма, либо обитание в насыщенной кислородом среде, либо все это вместе взятое. Известные безлегочные земноводные обитают в быстрых холодных протоках с чистой водой, наиболее крупный вид не превышает 27.5 см. Длина же тела *T. eiselti* достигает 72.5 см. Таким образом, обнаружен не только первый представитель червяг без легких, но и самая крупная безлегочная тетрапода (хоть червяги и лишены ног, но относятся к четвероногим — Tetrapoda).

У водных тетрапод — морских черепах, водяных змей, саламандр, водных птиц, китов и др. — легкие выполняют функцию, аналогичную плавательному пузырю у рыб, обеспечивая гидродинамику плавания. Отсутствие легких, как и отсутствие плавательного пузыря, связано с донным образом жизни. Естественно, у *T. eiselti* совершенно иная кровеносная система: нет легочных сосудов и сильно развита сеть кожных капилляров. Наружные ноздри сохраняются, но, поскольку дыхание через них уже не происходит, внутренние ноздри (хоаны) закрыты валиками. Большой рот, широкий уплощенный череп, каких нет у других водных червяг, позволяют утверждать, что и питается *T. eiselti* совсем не так, как другие виды.

На основании уникального строения своей находки Нуссбаум и Уилкинсон

сочли необходимым выделить новый род безногих амфибий — *Atretochoana* («закрытохоановые») с единственным пока представителем *A.eiselti*. К сожалению, о биологии этой червяги судить можно только косвенно, поскольку неизвестно точно даже место ее обитания и нет никаких данных о ее жизни в природе. Остается только надеяться, что в венскую коллекцию попал не последний представитель этой ветви эволюционного древа.

Proceedings of the Royal Society of London. Series B. 1995. V.261. P.331—335 (Великобритания).

Зоология

Соленогастры Белого моря

В типе моллюсков, кроме всем известных брюхоногих, двухстворчатых и головоногих, есть еще несколько небольших классов. Один из самых своеобразных — класс боконервных беспанцирных моллюсков (*Aplousiphora*). Они не имеют раковины и внешне больше всего похожи на покрытых иголками червей с желобком на брюхе. Подразделяются на два подкласса: ямкохвостые (*Caudofoveata*) и бороздчатобрюхие (*Solenogastres*). Недавно представителя соленогастров впервые нашли в Белом море, каудоfoвеаты же там обычны, хотя и немногочисленны.

Фауна Белого моря представляет особенный зоогеографический интерес. В период последнего оледенения котловина Белого моря была полностью заполнена льдом и освободилась от него только около 10—15 тыс. лет назад, причем поначалу вода в ней

была пресной. Позже она сменилась на морскую, и пошло грандиозное заселение вновь открывшегося моря животными соседних морей. Однако те или иные группы не смогли туда вселиться, правда, не исключена вероятность того, что некоторых из них просто не сумели найти.

Соленогастры были обнаружены в 1991—1995 гг. в Кандалакшском заливе Белого моря, в проливе Великая Салма, возле Беломорской биостанции (ББС) МГУ, на глубине 16—20 м. То, что они в течение стольких лет не были найдены в многократно прочесанных окрестностях ББС, объясняется в первую очередь образом жизни моллюсков: в отличие от большинства своих более крупных родичей, они принадлежат к так называемой интерстициальной¹ фауне, обитающей в пространствах между песчинками или мелкой галькой на морском дне (в месте находки животных гальку и песок полностью заменяют обломки раковин моллюсков и брахиопод). И размеры найденных соленогастров соответствующие — меньше 2 мм. Живут они на стремнине сильных в этом месте (0.7—1.2 м/с) приливно-отливных течений, так что богатый органическими остатками ил, с которым обычно связаны бороздчатобрюхие моллюски, в их ракушечном крошечке не задерживается.

Эта находка обогатила фауну Белого моря на целый подкласс животных. Видовую принадлежность найденных соленогастров еще предстоит установить.

Ruthenica. 1996. V.6. № 1. P.22 (Россия).

¹ От лат. *interstitium* — промежуток.

Анаэробные обитатели сверхсоленых вод

Зная удивительную способность микроорганизмов к существованию в необычных для жизни условиях, исследователи микромира продолжают поиски новых форм в средах с экстремальными температурами, pH, соленостью, а также там, где эти факторы сочетаются. Однако неясно, составляют ли обитатели этих мало пригодных для жизни мест филогенетически единую группу или же представлены разными по происхождению формами.

В 1995 г. два коллектива исследователей — один под руководством Г.А.Заварзина (Институт микробиологии РАН, Москва), другой во главе с Э.Штакебрандом (E.Stackebrandt; Немецкая коллекция микроорганизмов и клеточных культур, Брауншвейг, Германия) — доказали, что недавно описанная группа анаэробных бактерий, живущих в гиперсоленых водоемах, являет собой самостоятельную линию развития прокариот. Так появился новый порядок бактерий *Haloanaerobiales* (с двумя семействами: *Haloanaerobiaceae* и *Halobacteroidaceae*), в котором сейчас описано 8 родов с 12 видами.

Галоанаэробы — это подвижные грамотрицательные палочки, причем часть из них способна образовывать споры, что не свойственно большинству грамотрицательных бактерий. Они были найдены в донных осадках Большого Соленого озера в штате Юта и в Мертвом море как организмы, сбраживающие сахара. Русские исследователи открыли ряд новых родов и

видов¹ и установили, что галоанаэробы представляют собой определенное звено пищевой цепи в цианобактериальных сообществах. Все организмы этой группы — облигатные анаэробы обитают при повышенной солености (до 250 г/л NaCl) в донных отложениях морских лагун и чаще всего — с цианобактериями, продукты обмена которых используют. Некоторые обитатели сверхсоленых водоемов защищаются от неблагоприятных условий среды с помощью особых органических веществ — осмопротекторов; к таким веществам относятся гликозил-глицерид и глицин-бетаин, концентрация которых в клетках повышается с повышением солености. Галоанаэробы способны сбраживать эти вещества, а свое осмотическое давление регулируют посредством неорганических ионов. Однако этим не ограничиваются их способности.

К интенсивно исследуемой сейчас новой физиологической группе гомоацетатных бактерий принадлежит *Acetohalobium arabaticum* из лагун Сиваша. Эта бактерия удивительно разнообразна по обмену, она не сбраживает сахара, но способна расти литотрофно с водородом и углекислотой, метилотрофно с триметиламином (продуктом разложения бетаина), органотрофно с глутаминовой кислотой, образуя в качестве конечного продукта один ацетат. *Halo-cella cellulolytica*, также живущая в донных отложениях оз.Сиваш, сбраживает целлюлозу, которую в больших количествах производит водоросль *Cladophora sivashensis*. Недавно француз-

ские исследователи² нашли термофильный организм *Halothermothrix orenii*, который может развиваться при температуре 45–68°C, при этом оптимальны для него 60°C. Галофильные анаэробные организмы могут быть важным компонентом гластовых вод нефтяных месторождений.

Филогенетическое положение галоанаэробов, установленное на основе последовательности нуклеотидов в 16S рРНК, свидетельствует, что эта ветвь давно отделилась от группы спорообразующих бактерий и составляет самостоятельный порядок, подобно *Clostridiales*, *Bacillales*, *Eubacteriales* и *Mycoplasmatales*. Интересно, что филогенетическая ее обособленность была установлена одновременно тремя группами исследователей, среди которых были и экологи («охотники за микробами»), и молекулярные филогенетики. Замечательное совпадение результатов и выводов, полученных российскими специалистами³, затем французскими и австралийскими⁴ и, наконец, немецкими совместно с российскими⁵, обосновавшими правомерность выделения данной таксономической группы (время получения статей в редакциях датировано соот-

ветственно мартом, июлем и апрелем 1995 г.), убеждает, что в настоящее время систематика бактерий получила объективную основу. Для проведения дальнейших исследований в России организован Центр молекулярной идентификации бактерий при Институте микробиологии РАН.

© М.С.Покровская,
кандидат биологических наук
Москва

Микробиология

Новый штамм возбудителя холеры

До сих пор считалось, что причиной возникновения эпидемий холеры является штамм *Vibrio cholerae*, получивший обозначение 01. Однако в период последней, седьмой пандемии этого заболевания целый ряд вспышек холеры был вызван другим штаммом, обозначенным 0139 и антигенно отличающимся от классического. Его появление заставляет пересмотреть традиционные меры профилактики и наряду с применением обычной вакцины, направленной против штамма 01, создать вакцину против нового штамма. До сих пор появлению штамма 0139 не находили объяснения, однако исследования датских ученых во главе с Ф.Моои (F.Moøi; Национальный институт изучения здоровья и защиты окружающей среды) позволяют по-новому взглянуть на эту проблему.

Известно, что в природе, в частности в различных водоемах, помимо штамма 01 существуют и некоторые

² Cayol J.-L., Ollivier B., Patel B.K.C., Prensier G., Guezennec J., Garcia J.-L. // Int. J. Syst. Bacteriol. 1994. V.44. P.534–540.

³ Tourova T.P., Boulygina E.S., Zhilina T.N., Hanson R.S., Zavarzin G.A. // Syst. Appl. Microbiol. 1995. V.18. P.189–195.

⁴ Patel B.K.C., Andrews K.T., Ollivier B., Mah R.A., Garcia J.L. // FEMS Microbiol. Letters. 1995. V.134. P.115–119.

⁵ Rainey F.A., Zhilina T.N., Boulygina E.S., Stackebrandt E., Tourova T.P., Zavarzin G.A. // Anaerobe. 1995. V.1. P.185–199.

¹ Жилина Т.Н., Заварзин Г.А. // Журн. общ. биологии. 1991. Т.52. № 3. С.302–318.

штаммы холерного вибриона, непатогенные для человека. Исследования датских ученых позволили установить, что штамм 0139 отличается от штамма 01 по составу поверхности вибриона. Хотя ДНК обоих штаммов *V.cholerae* во многом идентичны, в составе одного из участков ДНК штамма 0139, контролирующего выработку сахаров, которые входят в состав клеточной стенки этих микробов, Моои и его коллеги нашли фрагмент цепи ДНК из нормального, непатогенного штамма. Они выдвинули гипотезу, согласно которой этот отрезок ДНК попал в результате конъюгации в штамм 01, превратив его в штамм 0139. Это означает, что при соседстве различных штаммов *V.cholerae* (скорее всего во внешней среде) вибрионы могут обмениваться друг с другом участками ДНК.

В настоящее время число больных холерой, зараженных штаммом 0139, пошло на убыль. Значит, население начинает приобретать иммунитет к штамму 0139. Однако датские ученые полагают, что в будущем эпидемии холеры, вызванные измененными штаммами возбудителя, могут возникнуть снова, поскольку и среди безвредных штаммов холерного вибриона в водной среде постоянно происходит обмен генов. Результаты этих исследований могут быть приложимы и к заболеваниям, вызываемым другими микроорганизмами.

EMBO Journal. 1995. V.14. P.209—212 (Великобритания).

Сельское хозяйство

Нашествия саранчи

По сведениям Организации по продовольствию и сельскому хозяйству ООН (ФАО), в Африке и на Среднем Востоке возросла угроза нашествия саранчи. Значительные ее скопления за последнее время зарегистрированы в северной и центральной частях Мавритании, на севере Мали и Нигера, а также на Красноморском побережье Судана. Отдельные ее стаи вторглись с юга на территорию Марокко и Алжир, затем, преодолев Красное море, распространились в прибрежных районах Саудовской Аравии. Здесь на площади 8500 км² уже отмечено более 100 их стай и ожидается формирование новых.

Особую тревогу вызывает положение на севере Сомали и в пограничной области между Суданом и Египтом, где постоянные вооруженные конфликты препятствуют не только оценке ситуации, но и принятию необходимых мер по применению инсектицидов. На территории Мавритании вредитель замечен в труднодоступных районах, что тоже осложняет контроль за передвижением саранчи.

Размножению насекомых способствовало то, что на севере Сахели (полупустынная полоса, протянувшаяся с северной стороны Сахары) осадки выпали в 1995 г. позже обычного. С библейских времен и поныне нашествия саранчи нередко приводят к полному уничтожению урожая и массовому голоду.

New Scientist. 1995. V.145. № 1963. P.10 (Великобритания).

Охрана природы

Судьба мадагаскарских сифак

Экспедиция, посланная три года назад Центром по изучению приматов при Дьюкском университете (Дарем, штат Северная Каролина, США) на о.Мадагаскар, отловила там трех диадемовых сифак (*Propithecus diadema*), именуемых также белолобыми индри. К сожалению, уцелел лишь один детеныш мужского пола, названный Ромео.

Белолобый индри принадлежит к семейству индриевых и наряду с широко известными лемурами входит в подотряд полуобезьян. Взрослая особь может весить до 7 кг. Индри покрыт густым разноцветным мехом (яркие желтые и оранжевые цвета сочетаются с серым, белым и черным).

Ныне диадемовый сифак стал одним из самых редких приматов. Главную угрозу для него представляет массовая вырубка лесов, почти бесконтрольно ведущаяся в Малагасийской Республике (уже сведено на нет около 90% лесного массива). Кроме того, местные жители охотятся на сифак, употребляя их мясо в пищу (кстати, местное название животного означает «еды на два дня»).

Новая экспедиция, организованная в 1996 г., имела основной целью отловить самку, с которой повзрослевший уже Ромео мог бы дать жизнеспособное потомство в вольерах дьюкского Центра по изучению приматов. Наряду с этим американские экологи и зоологи совместно с малагасийской службой лесоводства стараются создать

на о.Мадагаскар охраняемые участки для колонии этих сифак.

New Scientist. 1995. V.148. № 2004. P.13 (Великобритания).

Геология

155-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

Континентальные окраины — это основные районы накопления осадочного материала, поступающего в океан с материков. Здесь, в осадочных разрезах, отличающихся, как правило, стратиграфической полнотой, запечатлена последовательность многих геологических событий, которые имели место не только в океанах, но и на сопредельных континентах. Особенно это касается районов, прилегающих к устьевым частям крупных рек: разгружаясь в приконтинентальных областях, речные потоки формируют мощные осадочные тела, так называемые глубоководные конусы выноса. Благодаря высоким скоростям накопления осадков разрезы на участках конусов выноса отличаются высокой стратиграфической разрешаемостью, что обеспечивает большую детальность при палеоокеанологических и палеоклиматических исследованиях.

Один из наиболее крупных современных конусов выноса образовался на северо-восточной окраине Южно-Американского континента, вблизи впадения в Атлантический океан р.Амазонки. Формироваться он стал в миоцене, с началом воздымания Андийской горной системы. В настоящее время осадочный материал, выносимый Амазонкой, разгружается на шельфе, не достигая собственно конуса

выноса, однако во время ледниковых периодов, когда уровень океана понижался, он попадал непосредственно в подводный каньон, который пересекает континентальный склон и открывается в глубоководную часть К каньону примыкает целая система меандрирующих каналов, в большинстве своем отмерших. Множество таких отмерших каналов фиксируется геофизическими методами и внутри самого конуса выноса. Ныне единственным активным, соединенным с подводным каньоном остается Амазонский канал.

Именно этот конус выноса с его весьма сложной историей формирования был объектом исследований в 155-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюшн». В соответствии с Программой океанского бурения (ODP) он проводился весной 1994 г. Научными руководителями были Р.Флуд из Морского исследовательского центра при Нью-Йоркском университете и Д.Пайпер из Атлантического центра геологических наук при Институте океанографии в Бедфорде, Канада. Научным представителем Программы океанского бурения был А.Клаус¹.

В задачи рейса входило: выяснение истории формирования конуса выноса на основе изучения литолого-фациальных особенностей разных его частей, а также связи с изменениями уровня океана и тектонического режима в бассейне Амазонки; детальное изучение климатических изменений в Амазонском водосборном бассейне и в западной экваториальной

части Атлантики; установление природы и характера ранних преобразований органического вещества в осадках.

В рейсе было пробурено 36 скважин в 17 точках на всех основных элементах конуса выноса. Такое рекордное количество скважин, и притом с непрерывным отбором керна, позволило получить уникальный материал.

Литолого-фациальный анализ разрезов в сочетании с геофизическими данными показывает, что Амазонский конус выноса сложен четырьмя осадочными комплексами приустьевых отложений. Эти отложения формируют линейные асимметричные тела вдоль каналов по обоим их сторонам и обычно имеют мощность 50—100 м, в некоторых случаях — 200—300 м; к периферии мощность осадочных тел быстро уменьшается и уже на расстоянии около 10 км сокращается в три раза. В литологическом отношении они сложены главным образом глинистыми илами с незначительными прослоями алевроитов и песков. Иногда наблюдается постепенная смена снизу вверх грубозернистого материала тонкозернистым. Согласно предварительному заключению, эти четыре осадочных комплекса по времени своего образования отвечают ледниковым периодам.

Положение каналов, по которым транспортировался осадочный материал, часто менялось во времени. По предварительным возрастным оценкам, наиболее существенные смещения каналов в верхней, мелководной части конуса выноса происходили в позднем плейстоцене каждые 5—10 тыс. лет. Некоторые каналы меняли свое положение с перио-

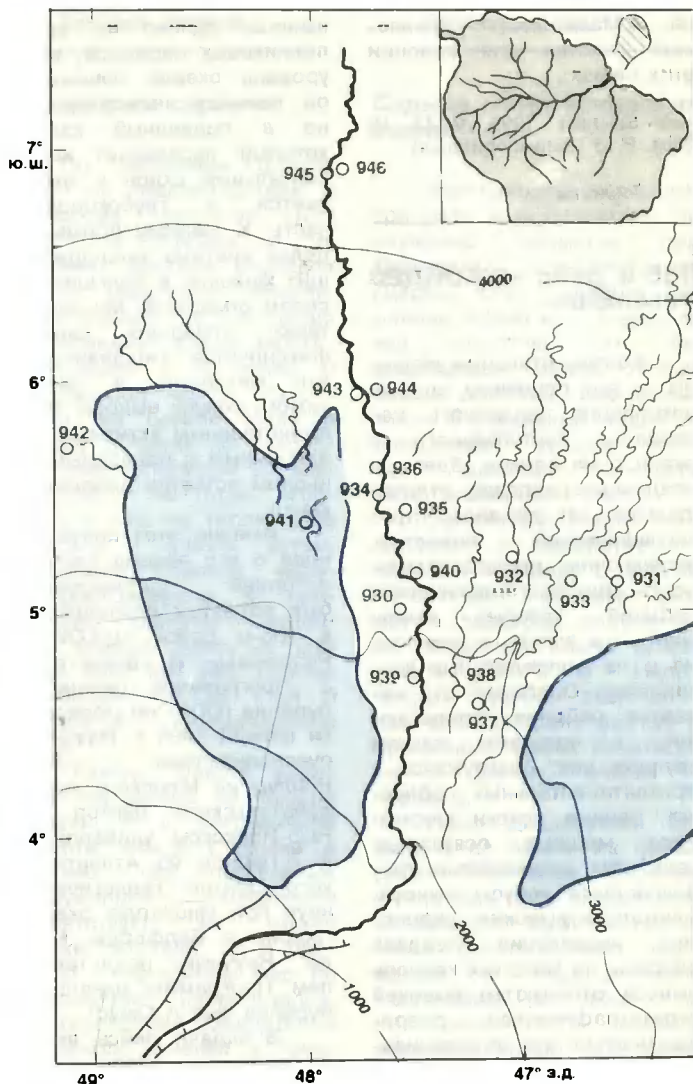
¹ Flood R.D., Piper D.J.W., Klaus A. et al. // Proceedings of the ODP, Initial Reports, 155. College Station, TX (Ocean Drilling Program).

дичностью 0.5—1 тыс. лет. Причиной этих миграций могли быть как колебания уровня океана, так и климатические изменения. Окончательный ответ может быть получен после лабораторных исследований.

Осадочные комплексы прирусловых отложений разделены толщами турбидитных образований. Они занимают обширные пространства и имеют большую мощность. Так, наиболее молодая толща отложений мутьевых потоков, показанная на рисунке, достигает мощности 100 м. Не исключено, что формирование этих отложений каким-то образом связано с изменениями уровня океана, хотя механизм такой связи еще недостаточно изучен.

Осадки, слагающие Амазонский конус выноса, содержат наряду с планктонными и бентосными фораминиферами также палинологические остатки (споры и пыльцу), которые в сочетании с меняющимся составом глинистых минералов помогут восстановить историю циркуляции поверхностных и придонных вод в западной экваториальной части Атлантики и эволюцию климата и процессов выветривания в бассейне Амазонки.

Анализ характера преобразований осадков конуса выноса с учетом экстремальных скоростей их накопления (до 10—25 м/тыс. лет) показывает, что процессы сульфат-редукции завершаются здесь на глубине 10 м ниже дна океана. Содержание органического углерода уменьшается вниз по разрезу от 1% — у поверхности дна до 0.8% — на глубине нескольких сот метров. Интенсивные выделения метана, текстурные особенности осадков и геофизические данные указы-



вают на вероятность локального присутствия газогидратов. Фосфаты и железо в поровых водах достигают максимальных концентраций на глубине, соответственно, 6 и 14 м.

Всестороннее изучение материалов рейса различными методами в лабораторных условиях позволит не только ответить на вопросы, касающиеся истории формирования самого конуса выноса, но и решить более общие проблемы

Район работ по Программе океанского бурения в западной части экваториальной Атлантики. Цифры на изолиниях — глубина океана; 930—946 — точки бурения. Закрашены районы распространения наиболее молодой толщи отложений мутьевых потоков; жирная извилистая линия — современный проводящий канал конуса выноса; тонкие извилистые линии — отмершие каналы на поверхности конуса выноса. На врезке штриховкой показано положение Амазонского конуса выноса у устья Амазонки.

позднекайнозойской геологической, океанологической и климатической эволюции Земли.

© И.А.Бавов,

доктор геолого-минералогических наук
Москва

Организация науки.

Геология. Микропалеонтология

Центры микропалеонтологических справочных коллекций

Уже почти 30 лет ведутся в Мировом океане исследовательские работы на буровых судах. Сначала (с 1968 г.) они осуществлялись по международному Проекту глубоководного бурения — Deep Sea Drilling Project (DSDP) на судне «Гломар Челленджер», заключительный, 96-й рейс которого проходил в 1983 г. На смену ему пришло судно «ДЖОЙДЕС Резолюшн» с более совершенным оборудованием. Ныне это судно (его английское название «JOIDES Resolution» образовано от «Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling») работает по новой программе — Ocean Drilling Program (ODP) и уже совершило свыше 60 рейсов (напомним, что сохраняется общая нумерация рейсов с начала работ). На дне океанов пробурены сотни скважин, давших уникальный научный материал, который содержит информацию по глобальной истории Земли и важные для палеонтологов новые биостратиграфические данные.

Для специалистов, занятых исследованиями в области стратиграфии осадочного чехла океанов, очень скоро стала очевидной необходимость создания серии дублирующих микро-



Международные центры микропалеонтологических справочных коллекций: 1 — Скриппсовский институт океанографии, Ла-Холля, штат Калифорния; 2 — Отделение океанографии Техасского университета, Колледж Стэйши; 3 — Американский музей естественной истории, отделение палеонтологии Смитсоновского института, Вашингтон; 4 — Геологическая обсерватория Ламонта-Дозерти, Палисейдс, штат Нью-Йорк; 5 — Музей национальной истории, Базель, Швейцария; 6 — Институт литосферы РАН, Москва, Россия; 7 — Национальный научный музей, Токио, Япония; 8 — Новозеландская геологическая служба, Лоуэр-Хатт, Новая Зеландия.

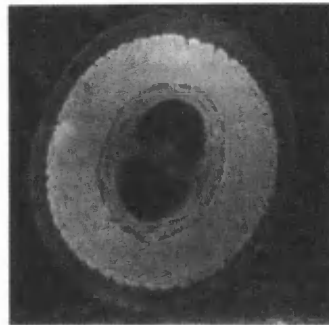
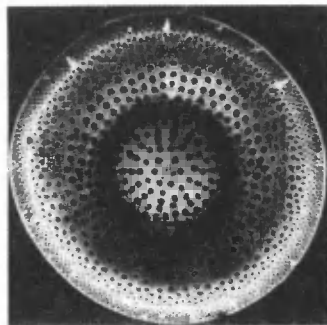
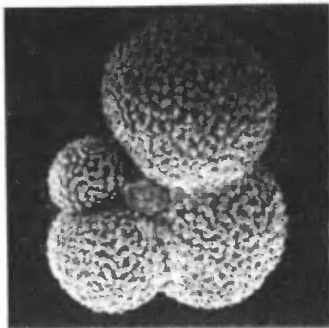
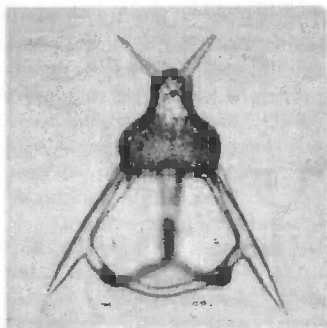
палеонтологических препаратов, изготовленных из образцов кернов наиболее ценных в стратиграфическом отношении скважин. Уже в 70-е годы руководство DSDP приняло решение организовать мировую сеть центров микропалеонтологических коллекций, при размещении которых в музеях или институтах учитывалось бы положение страны и масштабы ее исследований в океане. Преследовалась главная цель: максимально расширить и облегчить доступ специалистов к огромным по объему (накопленным и постоянно пополняющимся) материалам глубо-

ководного бурения. Было принято, что в каждом центре должны храниться коллекции препаратов по четырем основным группам микрофоссилий¹, к которым относятся фораминиферы, радиолярии, нанопланктон и диатомовые водоросли. Препараты изготовлены из одних и тех же образцов, что обеспечивает их идентичность.

Ныне из восьми созданных центров четыре находятся в США (см. карту) и по одному в Западной Европе, Японии, Новой Зеландии и России.

Центр микропалеонтологических справочных коллекций, размещенный в Институте литосферы РАН (Москва), в целом отвечает всем требованиям, предъявляемым научным руководством Программы океанского бурения. Он располагает отдельным помещением для хранения коллекций, рабочим местом и бинокулярным микроскопом; сама коллекция насчитывает 3320 фораминиферовых образцов (отмылок, хранящихся в специальных пластиковых пакетах) и около 1500 диатомовых препаратов на предметных

¹ Подробнее о микрофоссилиях (остатках растительных и животных организмов) см.: Кругликова С.Б. Радиолярии и возраст железомарганцевых конкреций // Природа. 1995. № 4. С. 48—58.



Микрофотографии представителей четырех основных групп микрофоссилий (слева направо): радиолярия, планктонная фораминифера, диатомея, кокколиит.

стеклах. Для содействия в научной работе над коллекциями при Российском комитете по глубоководному бурению, также базирующемся в Институте литосферы, создана библиотека, в которой имеется полный набор первичных и научных отчетов по всем проведенным рейсам (общей численностью около 200 томов), а также лазерные диски (CD-ROM) с геолого-геофизической информацией по рейсам «Гломар Челленджера» и научные материалы по результатам последних рейсов «ДЖОЙДЕС Резолюшн», отчеты по которым еще не опубликованы. Коллекции и другие материалы постоянно пополняются.

Научным куратором Российского центра микро-

палеонтологических коллекций администрацией ODP официально утвержден И.А.Басов, заведующий лабораторией стратиграфии и палеогеографии океанов Института литосферы РАН.

Информация для контактов: 109180 Москва, Старомонетный пер., 22, Институт литосферы РАН; тел.: (095) 230-77-83, факс: (095) 233-55-90, e-mail: basov@ilsan.msk/ru.

© Г.В.Короткевич
Москва

Геотектоника

Индо-Австралийская плита расколота надвое

В 80-х годах группа геофизиков из Северо-Западного университета (штат Иллинойс, США) высказала предположение, что гигант-

ская Индо-Австралийская литосферная плита, считавшаяся единой, на самом деле представляет собою две плиты; собственно Австралийская ее часть вращается против часовой стрелки вокруг Индийской со скоростью примерно 1° за 3 млн. лет. На основании косвенных признаков и математического моделирования специалисты определили, что центральная точка, вокруг которой совершается вращение, лежит примерно в 1 тыс. км к югу от Индостанского п-ова. Однако полного одобрения данная гипотеза в то время не нашла.

Продолжив эту работу на новом уровне, франко-американская группа геофизиков во главе с Дж.Уэйселом (J.Weissel; Геологическая обсерватория им. Ламонта и Доэрти при Колумбийском университете, Палисейдс, штат Нью-Йорк, США) провела ныне расчет сил сжатия, существующих к востоку от точки вращения, где на дне Индийского океана земная кора выгнута и вспучена. Вычисления показали, что в случае правильности данной гипотезы относительные движения обеих плит и, следовательно, силы сжатия вблизи этой точки должны быть незначительными, а по мере удаления от нее — возрастать.

Участник исследований аспирант Дж. Ван Орман (J. Van Orman) проанализировал результаты зондирования гидроакустическим эхолотом (сонаром) дна Индийского океана, проведенного между 1986 и 1991 гг. В каждой точке, где ложе океана вспучено, он вычислил, насколько земная кора была бы здесь протяженнее, если бы ее плоскость не нарушалась давлением. Затем он суммировал эти

величины вдоль каждого из двух 800-километровых разрывов земной коры, один из которых лежит непосредственно с восточной стороны от предполагаемой поворотной точки, а другой — еще на 300 км восточнее. Оказалось, что на отрезке, более близком к поворотной точке, земная кора «потеряла» всего 11.2 км своей протяженности, а на более удаленном участке — около 27.4 км. Это с убедительностью подтверждает, по мнению Уэйссела, что каждая из частей Индо-Австралийской плиты совершает свое движение независимо от другой.

Участники исследования полагают, что Индо-Австралийская плита начала раскалываться примерно 8 млн. лет назад вследствие накопления напряжений, связанных с «упором» ее северной части в Азиатскую плиту. К тому времени столкновение Индостана с Азиатской плитой уже привело к образованию Тибета и Гималаев, и в дальнейшем масса этих огромных горных систем оказалась «неподъемной» для тектонических сил, поэтому энергия движения плит стала расходоваться в пределах самой Индо-Австралийской плиты, что и привело к ее разлому посередине Индийского океана, непосредственно к югу от экватора.

Слабая сторона гипотезы состоит в том, что сонарный метод способен фиксировать вертикальные смещения, которые превышают 10 м, а наблюдаемый эффект лишь незначительного более этой величины. Для окончательных выводов необходимо увеличение разрешающей способности измерительных приборов.

Earth and Planetary Science Letters. 1995. V.133. P.35 (США).

Геофизика

Аэрозольный предвестник извержения Авачинского вулкана

13 января 1991 г. в районе Петропавловска-Камчатского произошло извержение одного из самых активных вулканов — Авачинского. Заблаговременный сейсмосигнал по телеметрической сети не поступил. Это не первый случай, когда сейсмосигнал оказывается ненадежным предвестником события. К новым методам прогноза извержений относится анализ легколетучих химических соединений некоторых микроэлементов, поступающих в атмосферу в тектонически активных зонах.

Как известно, тектоническая деятельность сопровождается выбросами газов и аэрозолей, которые поступают в атмосферу особенно активно в периоды, когда в земной коре возникают избыточные напряжения, близкие к пределам прочности горных пород, и появляются разрывные нарушения, предшествующие основному сейсмическому событию.

Камчатка, Сахалин, Курильские о-ва относятся к районам с крупными магматическими очагами, где нередки землетрясения с магнитудой, равной 7—8 по шкале Рихтера. На Авачинском вулкане в текущем столетии неоднократно происходили извержения (1901, 1909, 1926, 1938, 1945...), в том числе катастрофические, типа направленного взрыва с объемом выброса $16\text{--}20 \text{ км}^3$. Последнее значительное извержение Авачи произошло в 1991 г. Этот вулкан можно рассматривать как природный полигон для проверки метода

прогнозирования его извержений по аэрозольным выбросам. На склонах Авачи имеются ледники, а за зиму устанавливается значительный снежный покров. Снег, являясь сорбентом атмосферных аэрозолей, позволяет воспроизводить временное распределение концентраций аэрозолей в вулканических выбросах.

На ледниках Козельского и Заварицкого были изучены аэрозольные выпадения, приуроченные к извержению 1991 г. Снег отбирали на глубинах от 140 до 220 см, слоями толщиной 5 см, из двух шурфов на расстоянии 1 и 3 км от центра кратера, на высотах 1200, 2300 м над ур. м. Для датировки образцов использовали данные метеослужб по количеству выпавших осадков, а также структурные и текстурные признаки слежавшегося снега. Концентрации химических элементов определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индукционной плазмой. В результате установлено, что максимальное содержание аэрозолей приходится на слои, которые датируются снегопадами в конце ноября — начале декабря 1990 г., а также в январе 1991 г., в конце извержения вулкана. Были определены и коэффициенты химического обогащения вулканических аэрозолей некоторыми микроэлементами (по отношению к фумарольным газовым выбросам). Максимальные коэффициенты обогащения для селена, брома, кадмия, ртути, мышьяка, сурьмы достигали $10^4\text{--}10^6$.

Таким образом, полученные доказательства целесообразности контроля аэрозольных выбросов в сейсмоактивных зонах, причем в систему мониторинга следует включить анализ динами-

ки выбросов, их дисперсного и химического состава.

Доклады Академии наук. 1995. Т.345. № 5. С.667—670 (Россия).

Вулканология

Лед, выброшенный вулканом

Сотрудники Мичиганского технологического университета в Хафтоне (США), возглавляемые У.Роузом (W.Rose), изучили содержание вулканического облака, которое образовалось при извержении вулкана Рабаул (Папуа — Новая Гвинея) в сентябре 1994 г. Исследовались радиометрические данные, полученные с борта искусственного спутника «NOAA-12», принадлежащего Национальному управлению США по изучению океана и атмосферы. В двух инфракрасных полосах спектра этого облака присутствовали необычные сигналы, как правило, не наблюдавшиеся при других извержениях. Оказалось, что они вызваны взвешенными ледяными шариками диаметром от 18 до 80 мкм.

По-видимому, в ходе Рабаульского извержения в атмосферу поступило по крайней мере 2 млн. т льда. Причем такое количество находилось только в прозрачной части вулканического облака (бортовой радиометр ИСЗ не способен регистрировать ледяные кристаллы в непрозрачной области). Так как большая часть облака была непрозрачной, исследователи оценивают общее количество выброшенной вулканом влаги как близкое к 200 млн. т! Эта величина превышает выброшенную в атмо-

сферу массу силикатов и серы.

Вулкан Рабаул расположен у самого побережья, и многие его расщелины находятся почти на уровне моря. Возможно, во время предшествовавших извержению движений земной коры в них попала морская вода. В раскаленных недрах она испарилась, и пар, вырываясь вместе с вулканическими породами, взлетел на высоту около 20 км. При подъеме газ охлаждается, в результате влага кристаллизуется вокруг вулканической пыли, представляющей собою твердые ядра конденсации, а затем осаждается на земную поверхность. Наблюдавшие извержение отмечали, что вскоре после него прошел интенсивный «грязный дождь».

Огромное количество выброшенной в атмосферу воды объясняет и тот факт, что после извержения было обнаружено необычно мало серных продуктов. Известно, что газообразный диоксид серы может годами пребывать в воздушном бассейне, охлаждаящим образом влияя на климат. Если же H_2S растворится в воде, то в считанные часы вымывается из атмосферы, выпадая с осадками.

Среди вулканов мира немало расположенных на островах, вблизи морского побережья. Именно их извержения, в принципе, могут оказаться «малосернистыми» подобно Рабаульскому, так что климатологам и метеорологам следует в прогнозах учитывать особенность их поведения.

Кроме того, установленные факты важны для авиации. Многие вулканические облака могут выглядеть как обычные, но при этом содержать массу силикатных частиц, которые наносят существенный ущерб

моторам реактивных самолетов. Сейчас разрабатываются спутниковые системы для обнаружения такой угрозы, однако ледяная оболочка силикатных ядер конденсации сильно затруднит распознавание опасных скоплений вулканической пыли, что обязаны учесть конструкторы новых приборов.

Nature. 1995. V.375. № 6531. P.477 (Великобритания).

Океанология

Подводное «белище колесо» из гидротермальных бокоплавов

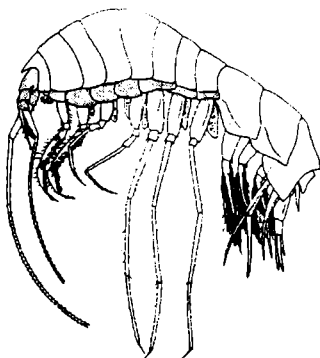
Гидротермальные излияния в активных районах глубоководного океанского дна — настоящие оазисы жизни. Они известны во многих районах Тихого и Атлантического океанов. Особенно впечатляют бурлящие кипящие жизнью излияния Восточно-Тихоокеанского поднятия и Срединно-Атлантического хребта. Наблюдателям из подводных аппаратов бросаются в глаза различия между атлантическими и восточно-тихоокеанскими излияниями: на востоке Тихого океана в фауне «оазисов» преобладают неподвижные животные — двустворчатые моллюски и живущие в трубках вестиментиферы¹, а на Срединно-Атлантическом хребте их замещают слепые креветки, в бесчисленных количествах снующие непосредственно у самых источников горячей

¹ Несис К.Н. Вестиментиферы // Природа. 1984. № 4. С.97—99; Сагалевич А.М., Москалев Л.И. Хемобиос на дне Тихого океана // Природа. 1991. № 5. С.33—40.

воды². Однако недавно поселения двустворчатых моллюсков-мидий обнаружены и на Срединно-Атлантическом хребте, а на Восточно-Тихоокеанском поднятии в 1991 г. открыли мощные скопления роящихся рачков, но только не креветок, а бокоплавов.

Стаи бокоплавов наблюдали на двух гидротермальных полях (9°30'—9°50' с.ш., 104°14'—104°18' з.д., глубина океана 2520 м) с американского подводного аппарата «Алвин» ученые из Вудс-Холского и Скриппсовского океанографических институтов и Естественно-исторического музея округа Лос-Анджелес³. Стаи состояли из рачков одного вида, относящегося к семейству *Pardaliscidae*. Позже он был описан как новый вид *Halice hesmonectes*⁴. Для гидротермального источника семейства *Pardaliscidae* не считалось характерным — к нему принадлежал максимум 1% бокоплавов, собранных вблизи излияний. Обнаруженные здесь рачки — некрупные (длина около 7 мм), слепые. У них три пары очень длинных тонких ножек для хождения по дну и еще три пары мощных плавательных ножек, работающих как весла.

Стаи плавали непосредственно над дном, чуть ниже по течению от мест



Глубоководный бокоплав *Halice hesmonectes*. Масштабная линейка 1 мм.

диффузных излияний горячей воды из трещин базальтового дна; здесь температура воды уже приближалась к температуре окружающей и составляла 2—8°C. Плотность скоплений рачков иногда превышала 1000 экз. в литре — концентрация, которой достигают разве что скопления антарктического криля. Объем отдельных стай не превышал 1 м³.

Почти все рачки в стаях обращены головами в одну сторону, к излиянию. Часть времени они активно плывут к источнику со скоростью 5—10 см/сек (или 10—20 длин тела в секунду), а достигнув цели, прекращают плыть, и течение со скоростью 7—8 см/сек сносит их метра на два в сторону от излияния. Тут они вновь начинают плыть. В таком бесконечном «беличьем колесе» рачки и проводят жизнь, проплывая приблизительно 6 км в сутки — наглядное опровержение существующих представлений о малоподвижном образе жизни глубоководных ракообразных.

Стаи рачков — постоянное явление. В декабре 1991 г. одну стаю обнаружили на том же самом месте (± 0.5 м), где ее

видели семью месяцами ранее, в мае того же года. Рачков наблюдали как в сообществе с большим количеством двустворчатых моллюсков и вестименти-фер, так и там, где этих животных нет, но чаще вблизи скоплений крупных животных. Не все рачки были в объемных стаях, отмечены и плоские скопления, и отдельные особи. Вероятно, рачки в стаях отфильтровывают из воды сероводородоокисляющие бактерии (которые кишат у самых излияний, где много H₂S) и питаются ими. Подобные скопления рачков видели и на других излияниях Восточно-Тихоокеанского поднятия, на 10 и 12° с.ш.

© К.Н.Несис,
доктор биологических наук
Москва

Демография

Зерновые запасы: общемировая тревога

По сообщению Института наблюдения за миром (Worldwatch Institute, США), общемировые запасы зерновых к моменту сбора урожая 1996 г. упадут до беспрецедентно низкого уровня — 231 млн. т, что обеспечивает лишь 48 дней мирового потребления¹. Недород стал следствием неблагоприятных погодных условий одновременно в США, Канаде, Северной Европе, России и Украине. В результате урожай 1995 г. оказался на 5% меньше рекордного сбора 1990 г. (1780 млн. т).

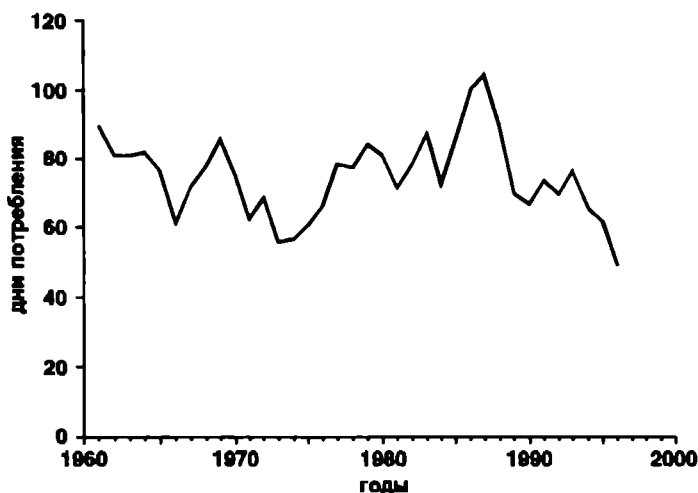
Опубликованная статистика по урожаю зерновых и их запасам позволяет раз-

¹ Brown L.R. Worldwatch Institute News Release. Vital Signs Brief 25.1.1996.

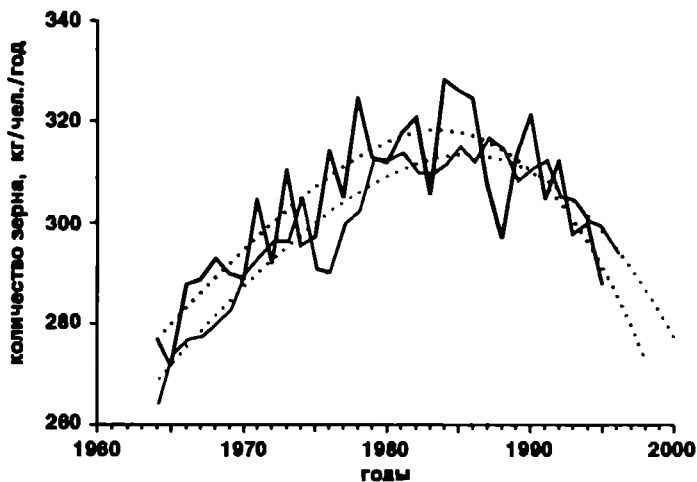
² Несис К.Н. Глаза, чтобы видеть «кипяток» // Природа. 1990. № 7. С.90—91; Габрук А.В., Пименов Н.В., Саввичев А.С. Бактериальный «огород» на ротовых конечностях креветок // Природа. 1992. № 8. С.37—39.

³ Van Dover C.L. // Nature. 1992. V.358. № 6381. P.25—26; Kaartvedt S., Van Dover C.L. et al. // Deep-Sea Research. I. 1994. V.41. № 1. P.179—195.

⁴ Martin J.W., France S.C., Van Dover C.L. // Can. J. Zool. 1993. V.71. № 9. P.1724—1732.



Ежегодные мировые запасы зерна к моменту сбора нового урожая, выраженные в днях потребления. (Источник L. Brown, Worldwatch Institute.)



Сравнение ежегодного общемирового производства и потребления зерна на душу населения. Производство — черная ломаная линия, потребление — цветная ломаная, соответствующие усредненные пунктирные кривые — кубические полиномы, проведенные с минимизацией квадратичных отклонений.

дельно рассчитать мировое производство зерна и его потребление на душу населения в год. После усреднения резких погодных колебаний оказывается, что обе зависимости прошли свои максимумы (около 320 кг/чел./год) в середине 80-х годов, причем усредненное потребление зерновых отстает от их производства на

2–3 года. Объективные причины подобных взаимосвязей анализировались в нашем журнале². Суть их в том, что на приросте мирового народонаселения недостаток продовольствия сказывается с запаздыванием всего на несколько лет, но

² Бялко А.В. Динамика послевоенного мира // Природа. 1995. № 5. С. 18–25.

инерционность численности мирового населения — порядка продолжительности жизни. Поэтому выход из надвигающегося продовольственного кризиса (путем стабилизации числа людей на Земле на уровне 10 млрд. чел.) с высокой вероятностью может оказаться сопряжен с чередой десятилетий голода. Напомним, что численность мирового населения сегодня достигает 5.8 млрд., ежегодно увеличиваясь почти на 90 млн. чел.

Надо отметить, что точность предсказания будущего (пунктирные кривые нижнего рисунка) — невелика, поскольку это экстраполяция сильно флуктуирующих зависимостей. Но главная причина грядущего продовольственного кризиса — рост народонаселения — объективна и долговременна.

Как будет развиваться продовольственный кризис? В 1973 и 1974 гг., когда запасы зерна перед урожаем сокращались до 55–56 дней потребления, цены на зерно вырастали вдвое по отношению к предшествовавшим урожайным годам. Сейчас цены уже возросли на 50% по отношению к уровню 1994 г., и не исключено, что в случае неурожая в текущем или следующем году зерновой рынок придет в состояние, близкое к хаосу, когда цены перестанут определяться производством.

В условиях сильной продовольственной зависимости России от мирового рынка и катастрофического положения нашего сельского хозяйства последствия зернового кризиса для нашей страны могут оказаться более тяжелыми, чем для мира в целом.

© А.В.Бялко,
доктор физико-математических наук
Москва

Рядом с «бомбой замедленного действия»

Б. М. Миркин,
доктор биологических наук
Р. М. Хазиахметов,
кандидат биологических наук
Уфа

БЫЛО бы несправедливо по отношению к российским книгоиздателям говорить о недостатке переводной литературы по экологии. Опубликовано на русском языке и учебники для колледжей, и специальные справочники¹, и даже наиболее интересные выпуски отчетов института «Worldwatch». И потому, когда берешь в руки новый четырехтомник, также ориентированный на начинающих экологов, то первоначально возникает мысль: а нужен ли он? И не дешевле ли было бы просто увеличить тираж, скажем, православной книги Б.Небела? Однако по мере чтения эти вопросы отпадают сами собой: издание имеет свою «нишу» в экологической литературе и свои особенности. Это самое «американское» (не случайно спонсором ее издания на русском языке было правительство США) из опубликованных руководств по экологии.

Во-первых, основная часть содержания — это характеристика отношений человека и среды его оби-



П.Ревелль, Ч.Ревелль. СРЕДА НАШЕГО ОБИТАНИЯ; в 4 кн. Пер. с англ. М.: Мир, 1994—1995. Кн.1: НАРОДОНАСЕЛЕНИЕ И ПИЩЕВЫЕ РЕСУРСЫ. 1994. 340 с. Кн.2: ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ И ВОЗДУХА. 1995. 296 с. Кн.3: ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА. 1995. 291 с. Кн.4: ЗДОРОВЬЕ И СРЕДА, В КОТОРОЙ МЫ ЖИВЕМ. 1995. 191 с.

тания в США, хотя периодически авторы вспоминают и про другие страны (в частности, достаточно подробно описывают Чернобыльскую катастрофу) и большинство глав завершается кратким обзором глобальной ситуации.

Во-вторых, это наиболее прагматический (экономический) вариант науки об окружающей среде. За всеми коллизиями отношений Человека и Природы авторы стремятся увидеть в

первую очередь действие экономических факторов, объединенных понятием «рынок». Они не отрицают важности воспитания экологического самосознания, более того, книга открывается (как примерами, достойными подражания) несколькими очерками о наиболее выдающихся американских борцах за дело охраны природы в последнем столетии из самых разных слоев общества (подрядчик-строитель У.Грин, инженер Дж.Мур, домохозяйка Л.Гиббс, искусствовед Дж.Ван Дейк, «рыцарь прерий» биолог Дж.Бец, писатель Р.Карсон). Тем не менее основным лейтмотивом книги остается тема экологической экономики рационального природопользования и охраны природы.

Авторы скорее прагматики, чем романтики. Если директор института «Worldwatch» Л.Браун считает, что к 2030 г. в США основным средством транспорта станет велосипед, то по мнению Ревеллов, автомобиль — столь органичный элемент американского образа жизни, что американцы не смогут с ним расстаться. Возможность уменьшения пагубного влияния автомобилей на природу Ревеллы видят лишь в создании более экологических марок машин и сокращении количества поездок за счет увеличения числа пассажиров в салоне лимузинов (при совместной поездке на работу соседей и

© Миркин Б.М., Хазиахметов Р.М. Рядом с «бомбой замедленного действия».

¹ Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. М., 1993. Ч.1; 1994. Ч.2; Небел Б. Наука об окружающей среде. Как устроен мир. М., 1993; Окружающая среда: энциклопедический словарь-справочник. М., 1993; XX век: последние 10 лет. Сб. статей из ежегодников «State of the World». М., 1992.

т.д.). Электромобили, по их мнению, также не дадут существенного выигрыша в улучшении среды, так как загрязнение все равно будет сопровождать и производство электрической энергии, и производство и реутилизацию аккумуляторов, т.е. ситуация уподобится «тришкину кафтану» и лишь заменит загрязнение оксидом углерода на загрязнение диоксидом серы, что усилит «кислотные дожди». Увеличится и загрязнение почв таким опасным токсикантом, как свинец.

В целом, если сравнивать позицию Ревеллов и Л.Брауна, рассматривающего рост производства развитых стран как «иллюзию прогресса», то Ревеллы предстают как тяготеющие к технократической концепции развития общества. Им присущ даже некоторый оттенок сциентизма в сочетании с верой в возможность поиска наукой новых источников энергии, ресурсов, средств контроля за загрязнением и т.д. Увы, при меньшей привлекательности концепция Ревеллов, видимо, более реалистична, так как затормозить прогресс невозможно.

В некоторых вопросах авторы даже чрезмерно экономичны в своих взглядах на будущее отношений Человека и Природы, тем не менее такой взгляд в высшей степени полезен для российского читателя. Наше «постидеологизированное» общество весьма легко может быть увлечено легковесными идеями кардинального улучшения экологической ситуации: за счет воспитания экологического самосознания на основе обогащения духовного мира человека. Неоправданный оптимизм автора «ноосферы» В.И.Вернадского сегодня ожил в достаточно спекулятивных, хотя и привле-

кательных идеях «коэволюции человека и биосферы», и определении «ниши человека в биосфере» и т.д.²

Увы, человек — биологический вид в основном только по способу размножения и питания, а во всем остальном он — антибиологическое, социальное и крайне опасное для природы существо, о чем знал и писал еще великий Жан Батист Ламарк, предсказавший самоуничтожение человека именно через разрушение собственной среды обитания. Сдержанная безудержная жажда потребления ресурсов «среднего человека» (а не тех героев, описанием подвигов которых открывается книга) могут только «кнут и пряник», т.е. жесткие экономические механизмы: плата за ресурсы, налоги за загрязнение среды и высокие штрафы за нарушение правил игры с Природой.

Рецензируемые книги — сугубо учебные издания, адресованные студентам первых курсов колледжей (причем не биологической, а технической направленности, хотя об этом их авторы и не говорят). Методический уровень книг высокий. В каждой главе выдерживается последовательность: индуктивный материал, который стимулирует вопросы студента, далее обобщение и, наконец, — несколько тем для дискуссий. В конце главы — краткое резюме.

В начале каждой дискуссии помещены две-три цитаты, представляющие оппонентов, а далее идет ненавязчивое разъяснение сути проблемы, которая избрана предметом спора. Оконча-

тельного вывода при этом авторы не дают и предлагают сделать его читателю (хотя и подводят его к тому выводу, который соответствует их точке зрения). Они считают, что такая постановка вопроса воодушевит студентов на скрупулезный анализ фактов и отказ от повторения чужих мнений, каким бы авторитетным специалистам они не принадлежали. Студент должен научиться высказывать свое собственное мнение.

Экология — «безразмерный» междисциплинарный комплекс, и потому крайне трудно выдержать одинаковый уровень изложения разных ее разделов (это, кстати, как раз удалось Б.Небелу). У авторов новой книги наиболее подробно и тщательно описаны проблемы промышленной экологии. Что касается биологических «азов экологии» и вопросов сельскохозяйственной экологии, то они рассмотрены достаточно обобщенно, что особенно заметно на фоне детального описания топливного цикла АЭС, основных типов ядерных реакторов, способов добычи и переработки угля, проблемы нефтяного загрязнения и т.д. Впрочем, даже в тех разделах, где изложение лаконично, авторы показывают самую высокую компетентность, что неудивительно: в разделе «Благодарности» приводится список более пятидесяти ведущих профессоров экологии из университетов и колледжей США, которые помогли авторам своими замечаниями.

Первая книга посвящена проблемам демографии (с включением в число вопросов обеспечение продуктами питания). На сегодняшний день подушный валовый национальный продукт в разных странах меняется в

² Кутырев В.А. Утопическое и реальное в учении о ноосфере // Природа. 1990. № 11. С.3—10.

самых широких пределах — от 150 долл. в Мали до 21170 — в Катаре. Средними авторы считают доходы в пределах от 700 до 9000 долл. в месяц, высокими — свыше 9000. На фоне динамики жизненного уровня и как его следствие рассматриваются все демографические процессы, включая иммиграцию, которую в целом Ревеллы признают положительным фактором: страны-импортеры получают недорогую рабочую силу, а страны-экспортеры — валюту. Однако понятно, что возможности иммиграции в богатые страны не безграничны и будут сокращаться год от года. Внедрение новых технологий тормозится быстрым ростом населения и дешевым детским трудом, который неизбежен в демографически неблагополучных странах.

Прогноз стабилизации численности народонаселения, тем не менее, у авторов достаточно оптимистичен — 8 млрд. жителей планеты. (Б.Небел прогнозирует стабилизацию численности населения мира на уровне 10 млрд., а Т.Миллер считает, что она не наступит и к 2100 г. при народонаселении в 10,4 млрд. человек). Впрочем, Ревеллы допускают, что если программы контроля за ростом народонаселения, которые успешно реализованы в Китае, Индии и наиболее развитых странах Южной Америки, не сработают, то тогда этот относительно благоприятный для будущего рубеж может быть превышен.

При рассмотрении вопросов сельского хозяйства (с особым вниманием к последствиям разрушения почв из-за эрозии и использования пестицидов) авторы склоняются к перспективам органической системы земледелия (без химических удобрений и пестицидов),

хотя и приводят ироничные оценки этого подхода И.Бацем: «Кто-то должен решить, каких именно 50 миллионов американцев мы собираемся умирить голодом или заставить жить впроголодь».

Увы, органическая система как преобладающая невозможна, и какое-то количество минеральных удобрений и даже малоопасных гербицидов применять в будущем придется. Это тем более очевидно, что авторы подробно анализируют сложившуюся в мире проблему продовольственного кризиса уже сегодня, когда население планеты на 2,5 млрд. меньше, чем при прогнозируемом уровне стабилизации. Обсуждаемое авторами понятие «Зеленая революция II» вряд ли правомочно. Экологизация сельского хозяйства на фоне продолжающегося роста народонаселения станет эволюционировать медленно, поскольку на сокращение производства продуктов (а оно при переходе на экологическое земледелие неизбежно) не может быть социального заказа — в свое время он обеспечил успех «Зеленой революции I», позволившей резко увеличить производство зерна³. Увы, в книге не получила должной критической оценки и тенденция высокой доли орошаемых земель в США. При исчерпаемости ресурсов воды в будущем неизбежна ориентация на сухое земледелие.

Во второй книге рассматриваются вопросы сохранения водных ресурсов и ресурсов чистого воздуха, причем обсуждению общих перспектив улучшения ситуации предпослано рас-

смотрение трех примеров возникновения неблагоприятных ситуаций — промышленное загрязнение р. Гудзон, превратившейся в сточную канаву, снижение водности р. Колорадо в результате перерасхода воды на орошение (хотя ситуация и не приняла масштаба трагедии Арала!) и возможные последствия прогрессирующего истощения подземного водного бассейна Огаллала, который питает водой скважины и колодцы Великих равнин США. Рассматриваются основные загрязнители воды и критерии ее качества, способы очистки и национальные стандарты чистой воды в США.

В центре проблемы атмосферного загрязнения — «смертоносный дуэт» оксидов серы и твердых частиц, выбрасываемых трубами ТЭС и прочих промышленных предприятий. Весьма интересные страницы, посвященные «ядерным зима в миниатюре» — последствиям крупных извержений вулканов, которые меняли климат обширных районов (и цены на сельскохозяйственные культуры!). При прогнозе последствий парникового эффекта авторы отмечают способность самой Земли к некоторому смягчению ситуации. Потепление климата усиливает испарение, а большая облачность уменьшает приток солнечного света. Впрочем, этот механизм не сможет полностью компенсировать пагубные последствия сжигания все новых порций углеродистого горючего.

Третья книга, посвященная проблемам энергетики, безусловно, лучшая в этом экологическом сериале. Она открывается рассмотрением последствий объединения стран экспортеров нефти в единый картель (ОПЕК), что вызвало повышение, а затем

³ Миркин Б.М., Хазиахметов Р.М. // Журн. общ. биологии. 1995. Т.56. № 2. С.256—268.

и понижение цен на нефть. Именно появление ОПЕК стало фактором, который резко усилил исследования в области поиска нетрадиционных источников энергии и разработки энергосберегающих технологий. Он подтолкнул и развитие угольной энергетики, а также поиск экологически безопасных способов использования этого более надежного, чем нефть, источника энергии (его запасы достаточны на несколько столетий).

Читатель получает исчерпывающую характеристику об экологических особенностях и перспективах развития всех видов энергетики, включая и атомную, и нетрадиционную. В частности, описывается неизвестный нам вариант использования солнечной энергии в тропическом поясе за счет разницы температур приповерхностного теплого и глубоководного холодного слоев океана.

Описывая возможные отрицательные последствия использования атомной энергетики (авторы реалистически

считают ее обязательным компонентом энергетического бюджета будущих поколений), они касаются и катастрофы в Чернобыле. Деликатно уклонившись от анализа социально-политических причин трагедии, они оценивают ее результат как эквивалент одновременного взрыва 300 атомных бомб среднего размера...

Четвертая книга — о здоровье человека, в основном о проблеме рака, который авторы считают главным экологическим последствием загрязнения окружающей среды (хотя первое место в ряду факторов, вызывающих рак, занимает курение!). Конечно, рак ежегодно уносит 6 млн. жизней (в том числе от него умирает 400 тыс. американцев при ежегодном диагнозе 700 тыс. больных в год), тем не менее, конечно, проблема экологических болезней много шире.

При рассмотрении процесса «расползания городов», ведущего к потере площади фотосинтезирующих экосистем (как лесных, так и сельскохозяйствен-

ных), Ревеллы вновь видят выход в использовании жесткой налоговой системы, которая делает экономически невыгодным дальнейшее расширение площадей застройки.

Четырехтомник пронизан пронзительной тревогой за судьбу человека, который живет рядом с многотоннажной «бомбой замедленного действия» (так назвал современное состояние окружающей среды цитируемый авторами Р. Харрис), однако авторы далеки от паники, считают ситуацию не безнадёжной и вполне управляемой.

И в заключение — об украшающем издание кратком «Предисловии к русскому изданию» А. М. Гилярова. Он пишет о «трагедии общин», возникающей, когда природа принадлежит всем и никому. Она особенно опасна для России с ее исторически сложившимся экстенсивным типом хозяйства. Возможные масштабы такой трагедии для России и пути изменения ситуации к лучшему помогают осознать четыре ре книги Ревеллов.

Над номером работали
Ответственный секретарь
Ю. К. ДЖИКАЕВ

Научные редакторы
И. Н. АРУТЮНЯН
О. О. АСТАХОВА
Л. П. БЕЛЯНОВА
М. Ю. ЗУБРЕВА
Г. В. КОРОТКЕВИЧ
Т. Ю. ЛИСОВСКАЯ
Л. А. ПАРШИНА
М. С. ПОКРОВСКАЯ
К. Л. СОРОКИНА
Н. В. УЛЬЯНОВА
Н. В. УСПЕНСКАЯ
О. И. ШУТОВА

Литературный редактор
М. Я. ФИЛЬШТЕЙН

Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Э. Р. БОЯРСКАЯ,
Т. К. ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И. Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Е. Е. БУШУЕВА

Компьютерный набор
Н. Ф. БОДЕНЦОВА

Перевод
П. А. ХОМЯКОВ

Корректоры
Т. Н. МОРОЗОВА
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА

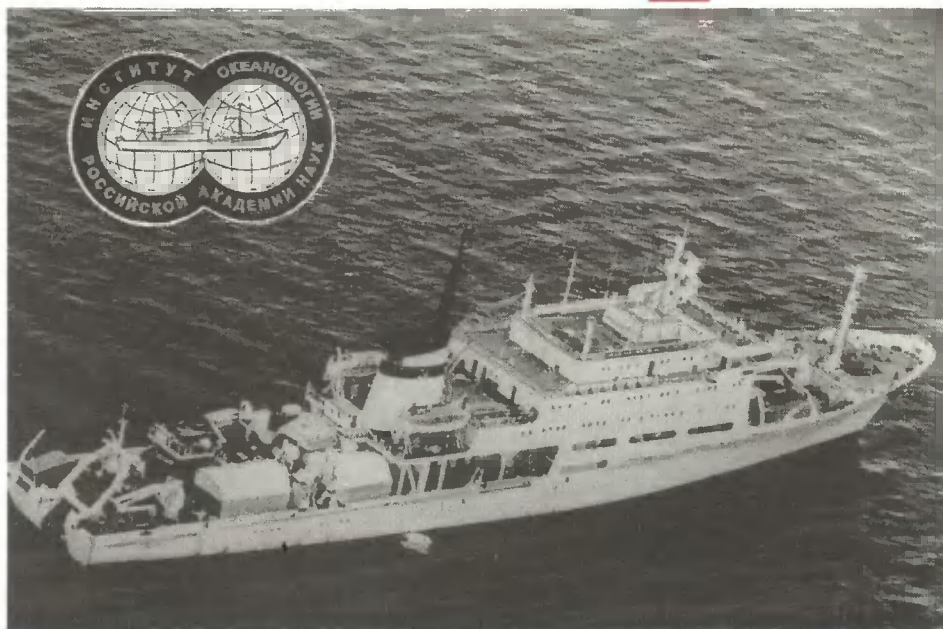
В художественном оформлении
номера принимали участие
Л. В. БОГАЧЕВ
В. С. КРЫЛОВА

Издательство «Наука» РАН

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-23-33
Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 4.06.96
Формат 70х100 1/16
Бумага типографская № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 12,9
Усл. кр.-отт. 113,0 тыс.
Уч.-изд. л. 19,2
Заказ 2340

Ордена Трудового Красного
Знамени Чеховский
полиграфический комбинат
Комитета Российской
Федерации по печати
142300, г. Чехов
Московской области
Тел.: (272) 71-336
Факс: (272) 62-536



Как никакое другое академическое научно-исследовательское учреждение, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (ИОРАН) имеет отношение к отмечаемому этим летом 300-летию Российского флота. Во-первых, фундаментальные исследования, проведенные специалистами ИОРАНа в широчайшем спектре наук об океане, внесли значительный вклад в нормальное функционирование флота — военного и гражданского. Во-вторых, институт обладает собственным уникальным научно-исследовательским флотом. В январе этого года ИОРАН отметил юбилей — 50 лет с того дня, когда вышло распоряжение Президиума АН СССР о создании института. Славной истории ИОРАНа — настоящей «академии» океанских наук — и его нынешним будням посвящена подборка материалов, предлагаемых читателям в следующем номере «Природы»

ПРИЗВАННЫЙ СЛУЖИТЬ ОКЕАНУ

Удинцев Г. Б. Я БЫЛ ПО СПИСКУ ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬИМ

Аксенов А. А. ЭПОХА «ВИТЯЗЯ»

Сагалевич А. М., Лисицын А. П. УСПЕХИ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОДВОДНЫМИ ОБИТАЕМЫМИ АППАРАТАМИ

Казьмин В. Г., Гольмшток А. Я. ИСТОРИЯ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА

Виноградов М. Е., Шушкина Э. А. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ОКЕАНА

Чесунов А. В., Мельников И. А. НЕМАТОДЫ — ОБИТАТЕЛИ АРКТИЧЕСКОГО ЛЬДА

Степанов В. Н., РОЛЬ ОКЕАНА В ФОРМИРОВАНИИ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА

Агапова Г. В. РУССКИЕ НАЗВАНИЯ НА ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ



LESH 0032 - 8743 (P) 0000. 1986 № 6. 4-100