

ISSN 0032 - 874X

ПРИРОДА

5 94



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И.Н.АРУТЮНЯН (редактор отдела физико-математических наук), О.О.АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), кандидат химических наук Л.П.БЕЛЯНОВА (ответственный секретарь), член-корреспондент РАН Н.А.БОГДАНОВ (геология), член-корреспондент РАН В.Б.БРАГИНСКИЙ (физика), член-корреспондент РАН А.Л.БЫЗОВ (физиология), доктор географических наук А.А.ВЕЛИЧКО (палеогеография), академик АМН А.И.ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н.Н.ВОРОНЦОВ (охрана природы), академик М.Е.ВИНОГРАДОВ (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), Л.Д.МАЙОРОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), доктор биологических наук Б.М.МЕДНИКОВ (биология), Н.Д.МОРОЗОВА (научная информация), доктор геологических наук Л.Л.ПЕРЧУК (геология), доктор технических наук Д.А.ПОСПЕЛОВ (информатика), член-корреспондент РАН В.А.СИДОРЕНКО (энергетика), академик В.Е.СОКОЛОВ (зоология), академик В.С.СТЕПИН (философия естествознания), академик В.Н.СТРАХОВ (геофизика), 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. Ритуальный бой серых варанов. См. в номере: **Целлариус А.Ю.** Поведение и образ жизни серого варана в песчаной пустыне.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Скелеты растительноядного зауролофа и хищных тарбозавров, вымерших в конце мелового периода, из коллекции Палеонтологического музея РАН. Возможно, когда-нибудь эти скелеты станут предметом изучения молекулярной археологии. См. в номере: **Стопповский Ю.А., Удина И.Г.** Гены древних "заговорили".



Всероссийское объединение издательских, полиграфических и книоторговых предприятий «Наука»

© Российская академия наук
журнал «Природа» 1994

В НОМЕРЕ

3 КОЛЕБАНИЯ КАСПИЯ: ПРИЧИНЫ И СЛЕДСТВИЯ

С 1978 г. уровень Каспийского моря повышается, и никто не знает, как долго продлится этот процесс. Причины колебаний уровня до конца не поняты. Однако в поведении моря усматриваются равновесные состояния, на которых море находится в течение значительного времени. От его продолжительности зависит и судьба прибрежных природных объектов — залива Кара-Богаз-Гол и дельты Волги.

Найденков В. И., Кожевникова И. А.
ПРЕДСКАЗУЕМ ЛИ УРОВЕНЬ МОРЯ? (4)

Федин В. П.

«СЛУГА» МОРЯ (13)

Свищов А. А.

ДЕЛЬТА ВОЛГИ (18)

26 Целлариус А. Ю.

ПОВЕДЕНИЕ И ОБРАЗ ЖИЗНИ СЕРОГО
ВАРАНА В ПЕСЧАНОЙ ПУСТЫНЕ

Четырехлетние исследования биологии серого варана в пустыне убедительно доказывают, что поведение этих ящериц не проще, чем многих млекопитающих, и формируется за счет личного опыта и элементарной рассудочной деятельности, а не врожденных механизмов реагирования.

36 Сурдин В. Г.

АСТРОЛОГИЯ И ОБЩЕСТВО

С точки зрения естественных наук, астрология — пустоцвет. И если бы астрологи не присваивали себе высокую репутацию, заработанную наукой, она оставалась бы лишь одним из многих проявлений массовой культуры.

44 Столповский Ю. А., Удина И. Г.

ГЕНЫ ДРЕВНИХ «ЗАГОВОРИЛИ»

Сегодня благодаря уникальному методу современной молекулярной биологии палеонтологический материал из немого свидетеля прошедших событий превратился в источник генетической информации.

51 Моця А. П.

АВТУНИЧИ — СЕЛЬСКОЕ ПОСЕЛЕНИЕ
ЭПОХИ КИЕВСКОЙ РУСИ

54 Пономарев В. С., Ромашов А. Н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЛОКОВОЙ СТРУКТУРЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Земная кора повсеместно разбита трещинами, которые придают ей блоковую структуру. В лабораторных экспериментах удается воспроизвести тип разрушения, сообщаящий субстрату такое строение.

64 Несис К. Н.

КТО ЗАВЕЗ ПЕСЧАНУЮ РАКУШКУ В
ЕВРОПУ?

66 Расс Т. С.

ОСКУДЕНИЕ РЫБНЫХ БОГАТСТВ В
ЧЕРНОМ МОРЕ

Экосистемы Черноморского региона и рыбные запасы в его водах находятся в удручающем состоянии. Сейчас еще можно хотя бы частично его оздоровить, но при разработке мер необходимо учитывать взаимосвязанность составляющих его морей и ликвидировать те главные антропогенные факторы, которые могли бы привести к катастрофе.

75 Торн К. С.

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И ИСКРЕВЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ:
ДЕРЗКОЕ НАСЛЕДИЕ ЭЙНШТЕЙНА

83 НОВОСТИ НАУКИ**95 КОРОТКО**

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ (43)

IN THIS ISSUE

3 FLUCTUATIONS OF WATER SURFACE OF THE CASPIAN SEA: CAUSE AND CONSEQUENCES

Since 1978 the Caspian Sea level has been rising and nobody knows when the process will be over. However, there exist sea equilibrium conditions, which are characterized by the great longevity. The fate of the coastal natural objects — Kara-Bogaz-Gol Bay and the delta of the Volga — depend on this longevity.

Naidenov V. I., Kozhevnikova I. A. (4)

Fedin V. P. (13)

Svitoch A. A. (18)

26 Tsellarius A. Yu. THE BEHAVIOR AND THE WAY OF LIFE OF A GREY LIZARD IN SANDY DESERTS

The four-year research of the biology of the grey lizard in deserts testify to the fact that the behavior of these lizards is not simpler than many other mammals and is formed due to their personal experience and simple reasonable activity, but not inherent mechanisms of reaction.

36 Surdin V. G. ASTROLOGY AND SOCIETY

From the point of view of natural sciences, astrology may be presented as a barren flower. If it were not for astrologists who assumed high reputation themselves due to science, astrology would stay as one of the many displays of mass culture.

44 Stolpovsky Yu. A., Yudina I. G. GENES OF THE ANCIENTS, CLEAR VOICE

Today, thanks to the unique method of the modern molecular biology, the paleontological material has been converted from the silent witness of the last events the source of the genetic information.

51 Motsja A. P. AVTUNICHI — A RURAL SETTLEMENT IN THE KIEV RUS

54 Ponomarev V. S., Romashov A. N. MODELLING OF THE BLOCK STRUCTURE OF THE EARTH'S CRUST

The Earth's crust is everywhere smashed with cliffs which give a block structure form to it. Experimentally, the type of disaggregation transmitting such a structure to the substratum, may be reproduced in experiments.

64 Nesis K. N. WHO HAS DELIVERED THE SANDMUSSEL TO EUROPE?

66 Rass T. S. FISH RESOURCES IN THE BLACK SEA ARE GROWING SCARCE

Ecosystems of the Black-sea region and fish reserves are in poor condition. At present it is still possible to improve partially the sanitary conditions of the region, but working out the sanitary measures it is necessary to take into account the interconnections of its component sea and to liquidate all the main anthropogenic factors which could lead to a catastrophe.

75 Thorne K. S. BLACK HOLES AND TIME WARDS: EINSTEIN'S OUTRAGEOUS LEGACY

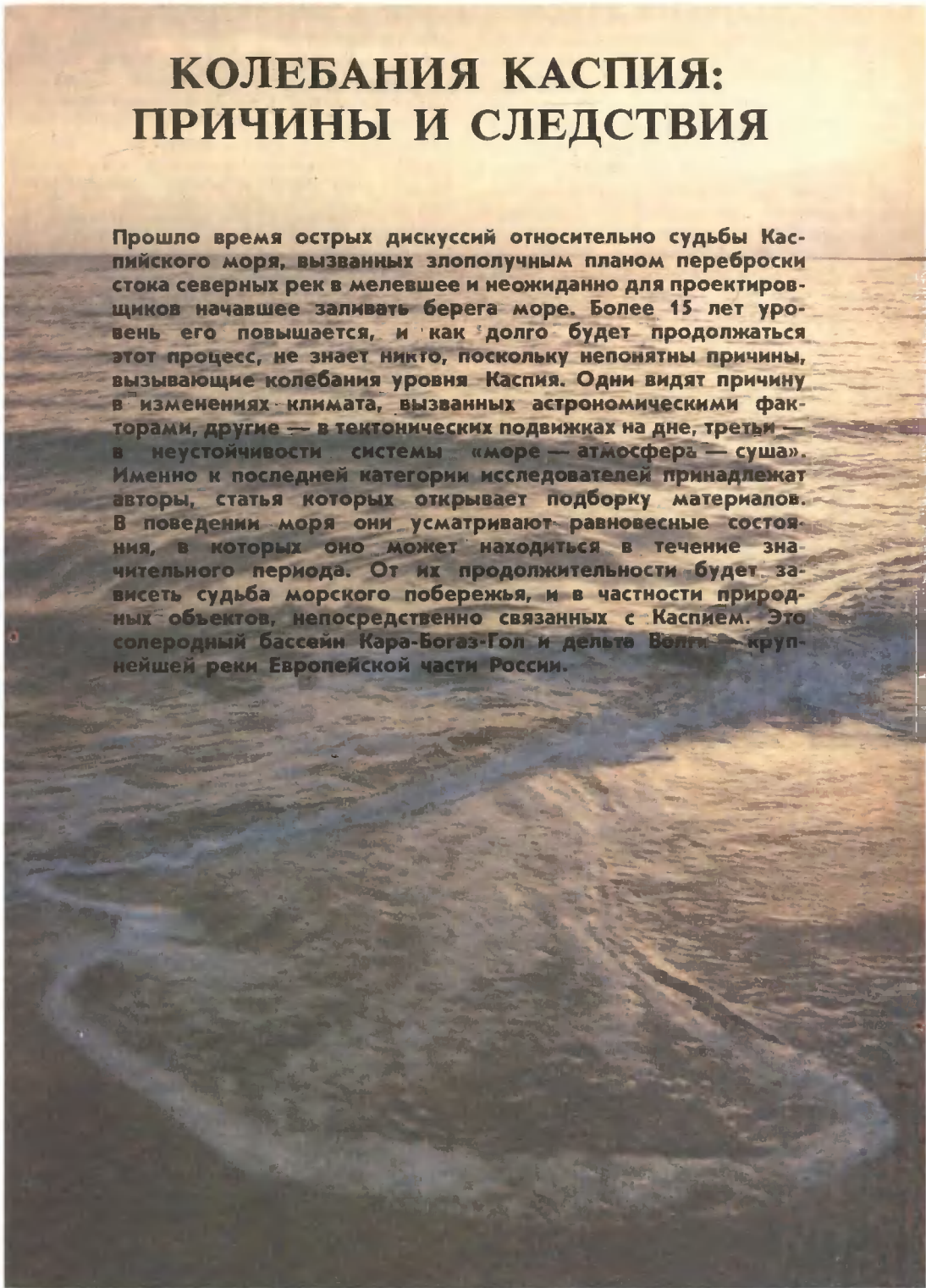
83 SCIENCE NEWS

95 NEWS IN BRIEF

ADVERTISEMENT AND ANNOUNCEMENTS (43)

КОЛЕБАНИЯ КАСПИЯ: ПРИЧИНЫ И СЛЕДСТВИЯ

Прошло время острых дискуссий относительно судьбы Каспийского моря, вызванных злополучным планом переброски стока северных рек в мелевшее и неожиданно для проектировщиков начавшее заливать берега море. Более 15 лет уровень его повышается, и как долго будет продолжаться этот процесс, не знает никто, поскольку непонятны причины, вызывающие колебания уровня Каспия. Одни видят причину в изменениях климата, вызванных астрономическими факторами, другие — в тектонических подвижках на дне, третьи — в неустойчивости системы «море — атмосфера — суша». Именно к последней категории исследователей принадлежат авторы, статья которых открывает подборку материалов. В поведении моря они усматривают равновесные состояния, в которых оно может находиться в течение значительного периода. От их продолжительности будет зависеть судьба морского побережья, и в частности природных объектов, непосредственно связанных с Каспием. Это солеродный бассейн Кара-Богаз-Гол и дельта Волги — крупнейшей реки Европейской части России.



Предсказуем ли уровень моря?

В. И. Найденов, И. А. Кожевникова

Как гласит закон периодических повторений, ничто не случается только однажды, все происходит вновь, повторяется еще раз и случается снова — и однообразно. Природа не оригинальна.

Марк Твен. Письма с Земли



Ирина Аркадьевна Кожевникова, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории математической статистики МГУ. Занимается статистическим и спектральным анализом временных рядов, статистикой случайных процессов, моделированием стохастических процессов.

Вячеслав Иосифович Найденов, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института водных проблем РАН. Область научных интересов — теплофизика, механика жидкости и газа, математическая физика, теплообмен в водных средах. В настоящее время занимается стохастическими процессами в нелинейных динамических системах.

КОЛЕБАНИЯ уровня Каспийского моря и других бессточных водоемов (Аральское море, озера Балхаш, Большое Солёное, Чад и т. д.) — одна из фундаментальных проблем современной гидрологии. Без ее решения невозможно разработать мероприятия, предотвращающие негативные последствия изменения уровня. Авторы статьи попытались взглянуть на сложную нерешенную проблему колебаний уровня Каспийского моря, пользуясь идеями и методами синергетики и современной теории стохастических процессов.

НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Один из исследователей Каспия, С. Н. Родионов, анализируя исторические сведения о положении уровня моря за по-

следнее тысячелетие, заметил 400-летнюю цикличность его колебаний¹. При этом после длительного стояния вблизи одной из отметок море быстро переходит к высокому или низкому уровню. Для прикаспийских регионов стремительные подъемы и падения уровня сопровождались губительными последствиями. По свидетельству итальянского географа М. Сануто, относящемуся к 1320 г., «море каждый год прибывает на одну ладонь, и уже многие хорошие города уничтожены». В 1304 г., например, был поглощен морем порт Абескун на юго-восточном побережье Каспия².

Описания колебаний уровня Каспийского моря (их достаточно много), конечно, не раскрывают их механизма. Не ясно, в чем причина долгого стояния моря вблизи одной из отметок, почему уровень сменяется

¹ Родионов С. Н. // Тр. ГОИН. Вып. 183. М., 1991. С. 24—36.

² Аполлов Б. А. Каспийское море и его бассейны. М., 1956.

новым, какие физические процессы в конце концов дестабилизируют и его, почему период быстрого изменения уровня мал по сравнению с периодом стояния моря и т. д.

Если проследить за дисперсией колебаний уровня вблизи квазиравновесного состояния, то обнаруживается, что за 1830—1930 гг. эта величина составляла $0,1 \text{ м}^2$ (в это время море находилось на отметке —25,8 м абсолютной высоты), затем за небольшое время (40 лет) вдруг выросла на порядок ($1,3 \text{ м}^2$). Столь резких изменений водности прикаспийского региона не наблюдалось. (Правда, сток Волги в 1930—1939 гг. был ниже нормы, но потом начал восстанавливаться.) Уровень моря, несмотря на это, продолжал падать и обнаруживал явную тенденцию к стабилизации на нижней отметке —28 м. В период 1890—1932 гг. средний годовой приток речных вод в море равнялся $301 \text{ км}^3/\text{год}$, потери стока, обусловленные хозяйственной деятельностью, — $10 \text{ км}^3/\text{год}$, в период 1941—1969 гг. эти «статьи» соответственно составили 287 и $20\text{—}30 \text{ км}^3/\text{год}$, т. е. водность выпадающих в Каспий рек практически не изменилась. Какой же физический механизм удерживал море у нижней отметки? Исследователи из Института водных проблем подсчитали, что слой испарения на высокой отметке стояния составлял $722 \text{ мм}/\text{год}$, а на низкой — 774 , т. е. низкий уровень моря поддерживался повышенным испарением с его акватории³. Теплофизик Е. Г. Архипова утверждает, что испарение Каспийского моря в период 1941—1969 гг. увеличилось только за счет Северного и Среднего Каспия, а в Южном оно не изменилось⁴. Поскольку внешняя климатическая ситуация, которая должна была сказаться на водности рек и испарении Южного Каспия, осталась прежней, то, скорее всего, повышенное испарение определялось самим морем. Резко уменьшились глубины Северного Каспия. Хорошо прогреваемые мелководные участки моря отдавали в атмосферу огромное количество влаги. Зависимость слоя испарения от глубины, известная всем исследователям Каспия, обычно не учитывается в теориях колебаний уровня моря.

Первый физический механизм колебаний уровня Каспийского моря предложили

С. Н. Крицкий и М. Ф. Менкель в 1946 г.⁵. Поэтому его называют механизмом Крицкого—Менкеля (КМ).

Предполагается, что скорость испарения для бессточных водоемов не зависит от глубины и полностью определяется внешними климатическими факторами: радиационным балансом, скоростью, температурой, влажностью воздушных масс и т. д. В рамках этой теории единственным механизмом, управляющим уровнем, режимом, считается механизм отрицательной обратной связи: при повышении уровня выше равновесного площадь зеркала испарения увеличивается, что заставляет уровень вернуться к исходному положению.

Динамику водного баланса моря можно представить в виде уравнения первого порядка

$$\frac{dH}{dt} = -\frac{dU}{dH}(H) + \varepsilon(t), \quad (1)$$

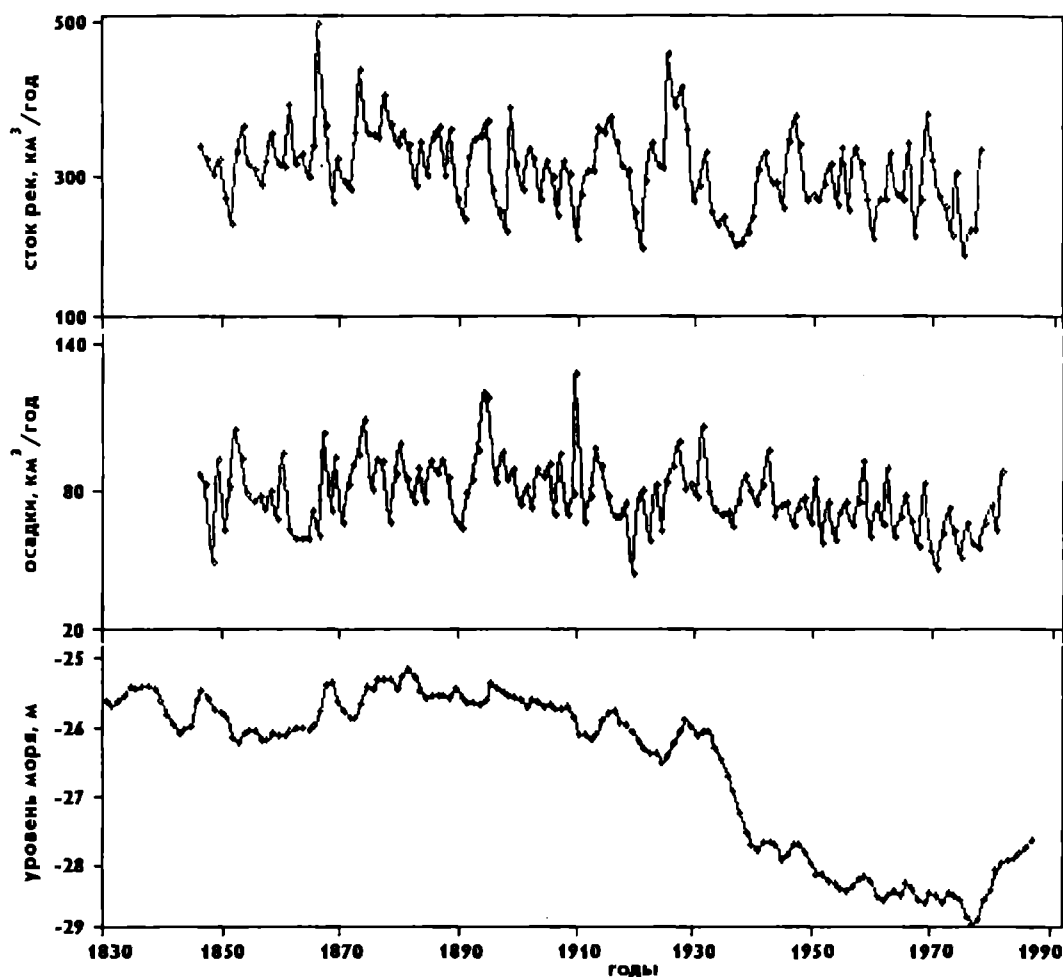
где H — уровень моря, t — время, $\varepsilon(t)$ — случайная функция, характеризующая климатическую изменчивость. Механизм КМ предполагает (мы намеренно излагаем простейший вариант этой теории, так как многочисленные усложнения не вносят принципиальных изменений), что потенциал имеет вид $U = 0,5\alpha(H - \bar{H})^2$, где $\bar{H}$ — единственный устойчивый уровень равновесия, α — коэффициент инерционности моря, связанный с временем релаксации τ (время, в течение которого море, будучи выведенным из состояния равновесия, возвращается к нему) простой зависимостью $\alpha = \tau^{-1}$. Для решения задачи колебаний уровня моря очень важно конкретное числовое значение параметра инерционности (времени релаксации), так как эта величина наряду с вероятностными свойствами функции $\varepsilon(t)$ определяет дисперсию колебаний уровня вблизи уровня равновесия и вероятность резких отклонений амплитудой $1\text{—}2 \text{ м}$. Чем меньше величина α , тем больше размах колебаний уровня моря относительно уровня равновесия.

Коэффициент α в ранних работах по Каспию принимался равным $0,02\text{—}0,03$ (время релаксации моря $30\text{—}50$ лет), потом с учетом оттока воды в залив Кара-Богаз-Гол — $0,075$ (13 лет) на высокой отметке —25,5 м и $0,05$ (20 лет) на низкой отметке.

³ Крицкий С. Н., Коренистов Д. В., Раткович Д. Я. Колебания уровня Каспийского моря. М., 1975.

⁴ Архипова Е. Г., Макарова Р. Е., Крюков В. В. // Тр. ГОИН. Вып. 125. М., 1975. С. 86—94.

⁵ Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Некоторые положения статистической теории колебаний уровней естественных водоемов и их применения к исследованию режима Каспийского моря // Тр. Первого совещания по регулированию стока. М., 1946.



Распределение речного стока, количества осадков и уровня Каспийского моря (1830—1992 гг.), по данным водного поста Баку. На нижнем графике просматриваются области высокого (-26 м) стояния моря в 1830—1929 гг. и низкого (-28 м) — в 1940—1978 гг. Дисперсии колебаний уровня около высокой (низкой) отметки на порядок меньше суммарной дисперсии (соответственно 0,1 и 1,3 м²). Резкие подъемы и падения уровня происходят на фоне устойчивых речного притока и осадков, что указывает на нелинейную реакцию моря на внешнее возбуждение.

—28,3 м. Если попытаться найти время релаксации, исходя из натурных данных наблюдений за уровнем моря (это можно сделать, построив регрессионное соотношение между ежегодными приращениями уровня и уровнем), то оно оказывается на порядок больше, чем априорное — соответственно 150 и 13—20 лет (!).

Это означает, что существует пока неизвестный физический механизм, замедляющий реакцию Каспийского моря на изменение климатической ситуации. Сразу подчеркнем, что в небольшом диапазоне отметок уровня модифицированный (с поправкой на зависимость слоя испарения от уровня) механизм КМ справедлив. Возьмем, например, наблюдения за уровнем моря в период высокого устойчивого стояния (1830—1929 гг.). Несложно построить линейную стохастическую модель колебаний уровня, которая неплохо описывает эти наблюдения (дисперсия колебаний уровня согласуется с наблюдаемой, теоретическая плотность распределения вероятностей уровня близка к гистограмме и т. д.). Затем в течение примерно 15 лет наблюдалось катастрофическое падение уровня,

но построенная линейная модель окажется неспособной предупредить наступившую катастрофу (падение уровня почти на 2 м и уход моря от населенных пунктов на десятки километров).

Если остаться в рамках гипотезы о стационарности климата (недоверенность этой гипотезы, впрочем, не означает, что море имеет только одно равновесное состояние, здесь ситуация еще более осложнится), то существует единственная логическая возможность выйти из тупика: предположить, что колебания уровня моря на разных отметках описываются разными линейными моделями. Оказывается, что законы испарения с поверхности глубокого моря и мелкого существенно различаются: в первом случае среднегодовой слой испарения слабо зависит от глубины моря, во втором — в диапазоне критических глубин до 10 м слой испарения сильно увеличивается.

Следовательно, уравнение водного баланса моря при учете этого теплового эффекта становится существенно нелинейным и необходимо построение нелинейной стохастической модели колебаний уровня моря, которая включала бы модель КМ как частный случай.

Авторы, основываясь на современных методах теории случайных процессов и математической статистики, построили нелинейную дискретную модель колебаний уровня Каспийского моря. Она выглядит следующим образом:

$$H_{t+1} - H_t = -\frac{dU}{dH}(H_t) + \varepsilon_{t+1} \quad (2)$$

$$\varepsilon_t = 0,46\varepsilon_{t-1} + 0,11\delta_t,$$

здесь U — потенциал Каспийского моря, ε_t — последовательность авторегрессии первого порядка, δ — последовательность взаимонезависимых и одинаково распределенных случайных величин, t — время (годы).

Функция — dU/dH определяется статистическим анализом на основе нового физического механизма колебаний уровня моря.

Случайная величина ε_t характеризует интегральный эффект влияния климатических параметров (осадков, температуры и скорости воздушных масс, их влажности) и не зависит от уровня моря. Она достаточно сильно коррелирует со слоем речного притока (коэффициент корреляции равен 0,65). Столь высокая корреляция означает, что колебания уровня Каспийского моря

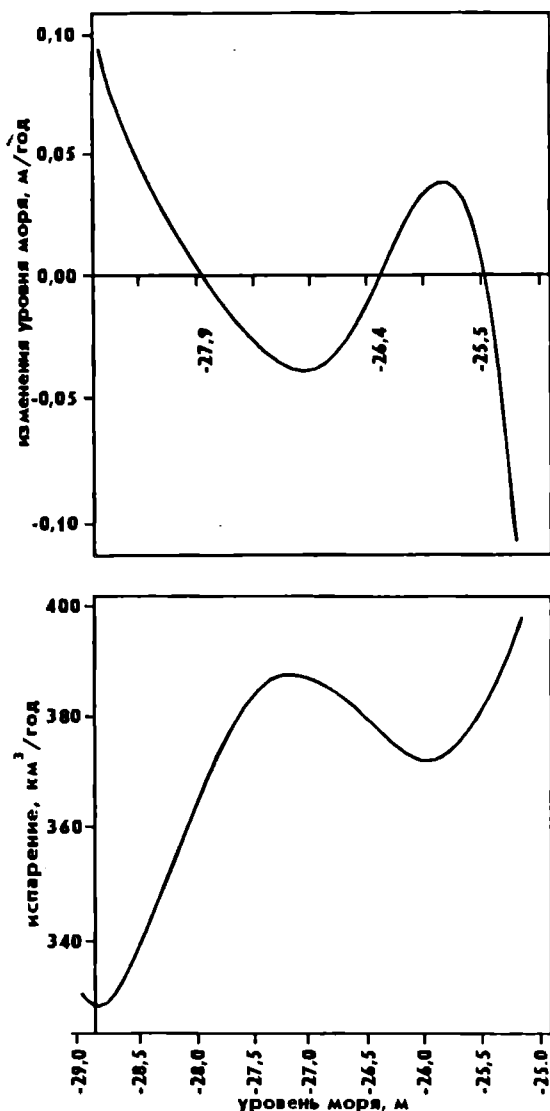
в сильной степени определяются водностью рек, испарением и осадками. Подчеркнем, что модель (2) получена без предположения о характере водного баланса моря и учитывает все возможные эффекты, влияющие на уровень моря.

Характерной особенностью этой модели является наличие у функции dU/dH трех нулей при $H_1 = -25,5$ м, $H_2 = -26,4$ м, $H_3 = -27,9$ м. Соответственно, потенциал $U(H)$ имеет три экстремума: два минимума, которые соответствуют локально устойчивым (метастабильным) состояниям равновесия — 25,4 м и — 27,9 м, и один максимум, соответствующий абсолютно неустойчивому состоянию равновесия (— 26,4 м). Расчеты по модели (2) позволили сделать следующие выводы.

Во-первых, уровенный режим моря характеризуется длительными периодами (200—400 лет) стояния вблизи устойчивых состояний равновесия и быстрыми (20—40 лет) переходами от одного уровня к другому. Во-вторых, море, пройдя неустойчивую отметку (— 26,4 м), уже практически не способно вернуться к исходному положению равновесия. В-третьих, нижний уровень равновесия моря менее устойчив, чем верхний, здесь дисперсия колебаний больше и, следовательно, больше вероятность резких изменений. Были построены и другие нелинейные зависимости, например зависимости испарения и стока в залив Кара-Богаз-Гол от уровня, зависимость уровня от речного притока, которые свидетельствуют о неустойчивости водного баланса моря.

Таким образом, учет нелинейного взаимодействия (в линейных системах такое явление, естественно, не возникает) положительных обратных связей приводит к качественной перестройке уровенного режима. Физически это понятно, так как твердо установлено, что нелинейные системы способны значительно усиливать поступающие в них возмущения.

Устойчивость верхнего уровня объясняется тремя физическими механизмами. Во-первых, относительная глубина проникновения тепловых волн для более глубокого моря меньше, чем для мелкого, следовательно, дестабилизирующее влияние зависимости слоя испарения от уровня менее заметно. Во-вторых, по законам гидравлики величина стока морской воды в залив Кара-Богаз-Гол нелинейно зависит от уровня, сильно увеличиваясь с его ростом. Следовательно, стабилизирующая роль залива на высоких отметках более существенна, чем на низких. В-третьих, с ростом уров-



Зависимость изменения уровня моря и испарения от уровня. Верхняя кривая пересекает нулевую отметку в трех равновесных состояниях Каспийского моря (два устойчивых: $-27,9$ и $-25,5$ м, разделенных неустойчивым на уровне $-26,4$ м).

на моря возникают дополнительные поверхности испарения, например, заполняются водой заливы Мертвый Култук, Кайдак и другие мелководные участки моря.

Эти стабилизирующие механизмы в области низкого уровня существенно ослаблены, поэтому устойчивость этого уровня понижается.

Ближайшие годы станут решающими

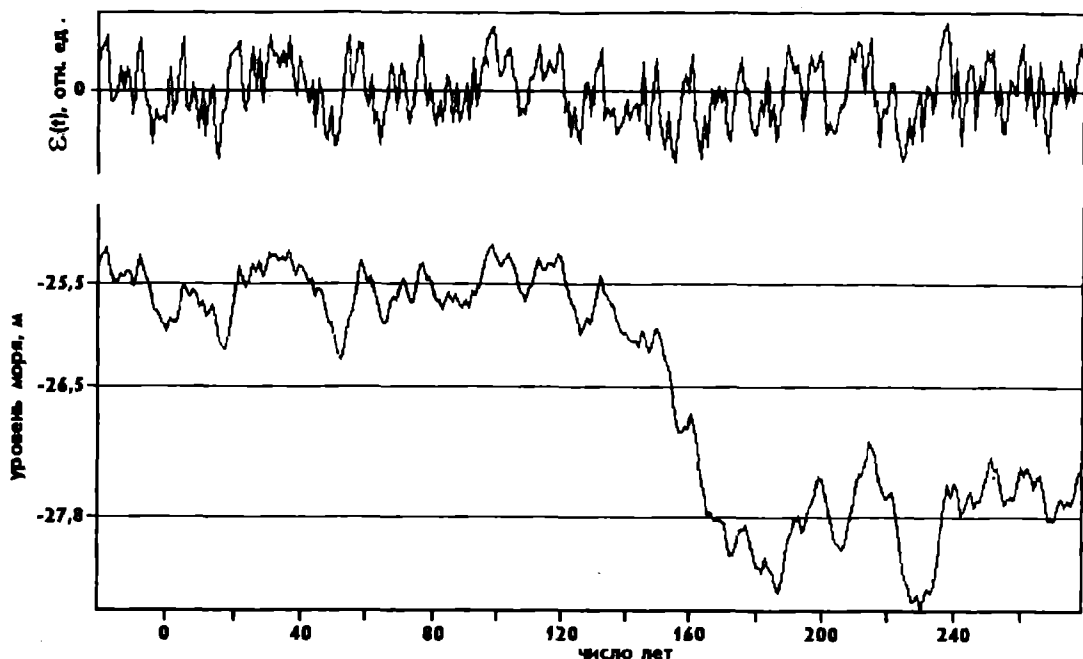
в жизни Каспийского моря. Если тенденция к образованию многоводной фазы сохранится и море перевалит через неустойчивую отметку, то вероятность перехода моря к высокому уровню экспоненциально возрастает.

Таким образом, для Каспийского моря характерна не только внешняя непредсказуемость, создаваемая климатическими изменениями, но и внутренняя, обусловленная неустойчивой динамикой водного баланса. В связи с этим напомним читателю, что в нелинейной динамической системе с тремя состояниями равновесия возможен хаос даже при детерминированном внешнем воздействии. Теперь, имея нелинейную модель колебаний уровня, можно объяснить резкое увеличение времени релаксации моря в определенном диапазоне отметок уровня. На основе решения уравнений (2) нетрудно построить две реализации случайного процесса.

Моделируем процесс так, чтобы одна реализация соответствовала длительному стоянию моря вблизи одной из отметок (нижней или верхней), а другая включала в себя переходы с уровня на уровень. Затем по полученным временным рядам уровней путем линейной регрессии определим время релаксации. Оказывается, что в периоды устойчивого стояния моря оно существенно меньше, чем при переходах с уровня на уровень. Следовательно, сильное увеличение времени релаксации, фиксируемое линейным анализом, косвенно свидетельствует о неустойчивости колебаний уровня моря.

Если для функции dU/dH использовать линейную аппроксимацию вблизи устойчивых равновесных уровней, то получим модель КМ, которую можно исследовать (в большинстве практически важных случаев это уже сделано) обычными методами статистического анализа. Таким образом, модель КМ удовлетворительно описывает колебания уровня моря вблизи устойчивых состояний равновесия до момента перехода с уровня на уровень. Информацию о возможных переходах и их вероятностном описании можно извлечь только из нелинейной модели.

Эта модель содержит важный элемент прогноза: всегда существует достаточно большая вероятность взлета или падения уровня Каспийского моря. С ее помощью можно понять, почему не оправдываются прогнозы колебаний уровня Каспийского моря. Во-первых, всегда существует вероятность перехода моря с уровня на уро-



Климатическое воздействие на море $\varepsilon(t)$ и уровень Каспийского моря, рассчитанные по модели авторов за 300 лет. При отсутствии устойчивых изменений во внешнем воздействии море перешло с высокого уровня на низкий в течение 30 лет. Время стояния на высокой отметке до момента перехода составляет 160 лет. Для нижнего режима возможны резкие колебания с амплитудой до 2 м. Верхний режим более устойчив, здесь такие колебания маловероятны. Время подъемов и опусканий уровня мало по сравнению с временем стояния моря вблизи устойчивых отметок.

вень; во-вторых, море, находясь вблизи одного устойчивого режима, «чувствует» притяжение соседнего устойчивого режима, так как они расположены близко друг от друга. Море часто «соскальзывает» в неустойчивую область колебаний, что обычно и «путает» прогноз.

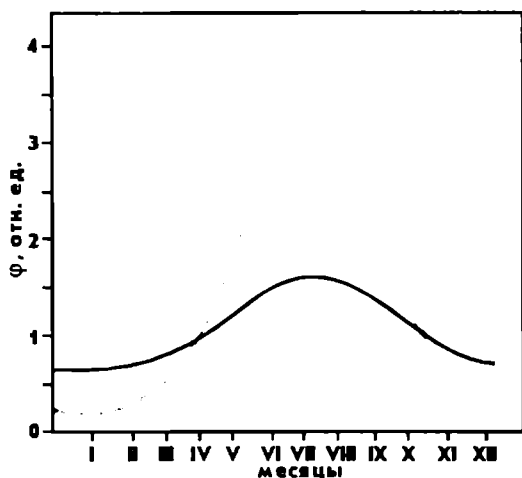
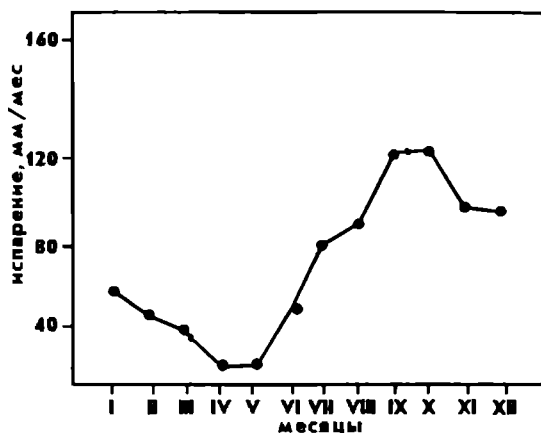
О ТЕПЛОВОМ МЕХАНИЗМЕ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ

Тепловой механизм колебаний уровня Каспийского моря, впервые подробно описанный на страницах «Природы», а также в других работах⁶, предполагает, что амплитуда внутригодового хода температуры поверхности воды существенно зависит от

глубины моря, увеличиваясь с уменьшением последней. В свою очередь, из-за экспоненциальной связи упругости насыщенного водяного пара с температурой, возникает сильная зависимость слоя испарения от глубины. Поскольку около 40 % площади Каспийского моря занимают мелководья и им же принадлежит основная роль в стабилизации уровня, очевидно, что зависимость слоя испарения от глубины (глубина, в свою очередь, функционально связана с уровнем) должна учитываться при разработке линейных и нелинейных моделей колебаний уровня. Это относится ко всем мелководным водоемам, находящимся в зоне континентального климата (Арал, Балхаш и др.).

В Институте водных проблем РАН одним из авторов этой статьи и О. О. Юшмановой доказано, что слой испарения существенно зависит от глубины водоема. При этом чем меньше глубина, тем больше прогреваемость и испарение, т. е. зависимость нелинейна. Увеличение амплитуды температурных колебаний на 2°C оказывает на испарение такое же действие как и увеличение среднегодовой температуры на 1°C . Причина тепловой неустойчивости испарения — существенно меньшая теплоемкость твердых компонентов дна, чем теплоемкость воды. В мелководном море (Северный Каспий, залив Кара-Богаз-Гол) солнечные лучи достигают дна, в результате

⁶ Найденов В. И. // Математическое моделирование. 1992. Т. 4. № 6. С. 50—64; Найденов В. И., Подсечкин В. П. // Водные ресурсы. 1992. № 6. С. 5—11.



Вверху — годовой ход испарения над мелководным (~5 м) Северным Каспием (цвет) и более глубоким (до 200 м) Средним Каспием (по Г. Н. Панину, 1987). Внизу — упругость насыщения водяного пара (ϕ) над модельными мелководным (до 10 м — цвет) и глубоководным (больше 30 м) водоемами. В фазе нагревания испарение Северного Каспия значительно больше, чем Среднего; в фазе охлаждения картина обратная, здесь сказывается большой тепловой запас глубоководной части моря. Прослеживается корреляция между испарением и упругостью насыщения водяного пара.

этого дно и тонкий слой воды быстро прогреваются и температура испаряющей поверхности резко возрастает по сравнению, например, с глубоководным Средним Каспием. Однако в осенне-зимний период температура мелководных частей моря, ввиду малого запаса тепла, сильно понижается. В целом среднегодовая температура изменится мало, однако амплиту-

да внутригодового хода возрастет и, соответственно, увеличится испарение.

Сравним внутригодовой ход испарения Северного и Среднего Каспия (такое сравнение исключает в некоторой степени роль случайных климатических факторов). В весенне-летний период испарение с поверхности Северного Каспия значительно больше испарения со Среднего (расхождение в некоторые месяцы достигает сотни процентов, соответственно 120 и 20 мм/мес)⁷. В осенне-зимний период картина обратная (здесь сказывается большой теплозапас глубоководных частей моря), однако в целом эффекты нагрева для испарения более важны, чем эффекты охлаждения. Картина будет более разительной, если учесть, что величина радиационного баланса для Среднего Каспия на 30 % больше, чем для Северного. Следовательно, в случае, если бы обе сравниваемые части моря находились в одинаковых условиях, нелинейный эффект влияния глубины на испарение был бы более заметен.

С помощью построенной авторами зависимости испарения Каспийского моря от уровня можно оценить слой испарения соответственно на низкой и высокой отметках. Испарение здесь одинаково — 380 км³/год, а площади моря соответственно равны 380 и 415 тыс. км², следовательно, слой испарения на низкой отметке равен 100 см/год, а на высокой — 90, т. е. подъем уровня моря на 2,5 м уменьшает слой испарения на 10 %.

Есть и другие свидетельства в пользу теплового механизма. На гидрометеостанциях Северного Каспия (Астраханский рейд, о. Чечень, о. Большой Пешной, форт Шевченко) и Среднего Каспия (п-ов Апшерон, о. Жилой, заливы Кара-Богаз-Гол и Куули) зафиксировано, что за период после 1934 г. характерны более низкие осенние и более высокие весенние и летние показатели температуры (на 1,5 °C по сравнению с температурой за предшествующий период).

С. Н. Родионов и В. А. Синицин выделили два режима многолетних колебаний температуры воды и ледовитости Каспийского моря, сравнительно резкий переход между которыми произошел в 40-е годы. Они считают, что нарушение установившегося режима колебаний гидрометеорологических характеристик и перехода к новому квазистационарному состоянию обусловлено неизвестным природным явлением,

⁷ Панин Г. Н. Испарение и теплообмен Каспийского моря. М., 1987.

механизм которого может быть установлен после широкого комплекса исследований климатической системы как единого целого⁸.

О НОВОМ СПОСОБЕ УПРАВЛЕНИЯ УРОВЕННЫМ РЕЖИМОМ МОРЯ

Наличие двух метастабильных, слабо-устойчивых уровней равновесия, разделенных областью неустойчивости, делает поведение Каспийского моря существенно непредсказуемым, в то же время для хозяйственной деятельности прибрежных регионов нужны какие-то ориентиры. Оказывается теоретически возможна задача стабилизировать уровень моря вблизи одной из устойчивых отметок, верхней или нижней. С точки зрения теории управления случайными процессами возможен перевод моря из одного устойчивого равновесного состояния в другое, минуя неустойчивую область, или стабилизация уровня моря вблизи устойчивого равновесного состояния.

В первом случае достаточно «перебросить» море в область соседнего устойчивого уровня равновесия путем подачи или изъятия (в зависимости от направления переброски) некоторого количества воды. После того как перевод моря осуществлен и наблюдается стабилизация уровня вблизи новой отметки, управляющее воздействие может быть снято и дальнейший новый режим будет поддерживаться собственным тепловым режимом моря, который приводит к новому слою испарения. Этот механизм управления характеризуется наличием критического слоя дополнительного притока (оттока) воды: для Каспия эта величина равна ± 3 см/год. Физически эта величина определяется высотой потенциального барьера, разделяющего устойчивые уровни.

В случае меньшего объема воды море не преодолевает потенциальный барьер и не попадает в область притяжения нового режима и после снятия управляющего воздействия вернется к прежнему состоянию равновесия. Переброска не удастся. Промежутки времени, в течение которого необходима подача (изъятие), определяется как частное от деления расстояния между двумя устойчивыми уровнями (2,5 м) на величину слоя дополнительного притока (отто-

ка) воды. Например, при слое в 10 см/год эта величина равна 25 годам.

Для моря с единственным устойчивым уровнем равновесия такой способ управления реализован быть не может. Здесь, например, для подъема уровня необходимо было бы подавать воду в течение неограниченного времени (что и предусматривалось проектом переброски северных рек), чтобы поддерживать водный баланс моря вблизи нового уровня равновесия.

Как стабилизировать уровень Каспия вблизи верхней (нижней) отметки? Допустим, что море колеблется вблизи низкого уровня равновесия, дисперсия колебаний уровня мала и состояние моря далеко от неустойчивого. В таком случае никаких мер по стабилизации принимать не надо. Допустим, выпала многоводная фаза, способная завершиться переходом моря к нежелательному высокому уровню, уровень моря повысился и приблизился к вершине потенциала. Ввиду резкого увеличения вероятности перехода к новому состоянию равновесия необходимо осуществлять механизм управления. Если в каком-нибудь году (обозначим его n) уровень моря повысился и стал равным H_n , причем $H_n > H_2$ (H_2 — неустойчивый уровень), то в следующем, $n+1$ году необходимо изъять слой воды $H_n - H_2$ и таким образом вернуть море в область притяжения нижнего режима. Эта операция (для ее осуществления необходим объем воды примерно в 1000 км^3 — таков объем воды между верхним и нижним уровнями) повторяется в течение всей экстремально опасной многоводной фазы при прохождении моря через критическую неустойчивую отметку. Включение этого механизма позволит переждать неблагоприятную климатическую фазу и не даст возможности морю уйти к верхнему режиму. Аналогично производится удержание моря у верхней отметки.

С точки зрения предложенного механизма разрушение дамбы, разделившей залив Кара-Богаз-Гол и Каспийское море, увеличивает вероятность возвращения моря к нижней отметке (в 1992 г. в залив ушло около 20 км^3 воды).

ТЕРМОХАЛИННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ РЕЖИМА ИСПАРЕНИЯ ЗАЛИВА КАРА- БОГАЗ-ГОЛ

Механизм тепловой неустойчивости процесса испарения мелководных участков Каспийского моря может проявиться в де-

⁸ Родионов С. Н., Синицын В. А. // Тр. ГОИН. Вып. 183. М., 1991. С. 41—48.

стабилизирующем влиянии залива Кара-Богаз-Гол (до отсоединения его дамбой в 1980 г.) на уловенный режим моря. Здесь важна не только малая глубина, а следовательно, и хорошая прогреваемость, но и его высокая степень минерализации. Если до момента катастрофического падения уровня моря (1930—1939 гг.) соленость рассолов залива составляла $180 \text{ }^{\circ}/_{\text{оо}}$, то уже к 1940 г. концентрация солей увеличилась до $300 \text{ }^{\circ}/_{\text{оо}}$ и в заливе начала осаждаться поваренная соль. Уровень воды в заливе стремительно понижался, существенно опережая падение уровня Каспия: в 1921 г. разность уровней моря и залива составила только 44 см, в 1947 г. — уже 3,17 м, а в 1955 г. достигла 3,8 м.

Хорошо известно, что с поверхности минерализованных водоемов испаряется пресная вода (стабилизирующий эффект уменьшения упругости водяного пара с ростом минерализации, как показывают оценки, меньше, чем термохалинный эффект). При испарении воды в заливе происходит перенасыщение раствора и образование кристаллов соли с выпадением их в осадок. Этот процесс может быть очень интенсивным, например, при падении уровня воды в заливе дно его бассейна за счет выпавшего в осадок галита поднялось на 3 м: там, где раньше глубина была 3,5 м (до 1974 г.), в 1982—1984 гг. она стала 0,25—0,5 м. В результате этого процесса эффективная теплоемкость гетерогенной системы, состоящей из пресной воды и соли в растворе, твердых компонентов дна (песок; ракушечник, глинозем, соль, выпавшая в осадок, и др.), уменьшилась (сравните: удельная теплоемкость воды — $4,18 \text{ Дж/г} \times \text{град}$, соли — $0,8 \text{ Дж/г} \cdot \text{град}$). Это способствовало сильному весенне-летнему прогреванию и осенне-зимнему переохлаждению рассола залива, что еще больше увеличило скорость испарения и степень минерализации. Таким образом, рост испаре-

ния увеличивает пересыщение раствора и кристаллизацию, это уменьшает эффективную теплоемкость и увеличивает амплитуду температурных колебаний, что способствует прогрессирующему процессу испарения. Ввиду экспоненциальной зависимости скорости испарения и кристаллизации от температуры высыхание может происходить очень быстро. Особенно его ускоряет прекращение питания залива распресненной теплоемкой водой Каспия. На снимках из космоса видно, что усыхание залива происходило в 5 (!) раз быстрее по сравнению с прогнозными оценками.

Очевидно, что этот эффект проявляется и в других мелководных соленых водоемах, например Аральском море. За время Аральского кризиса соленость моря возросла в три раза и приблизилась к уровню солености океанической воды. В ближайшие десятилетия следует ожидать углубления катастрофы ввиду уменьшения теплоемкости моря. Для стабилизации нынешнего уровня Аральского моря необходим сток в $35 \text{ км}^3/\text{год}$, таков современный расход воды, главная статья которого — испарение. Увеличивающаяся соленость и проникновение тепловых волн до дна моря не позволяют этого сделать: подаваемая вода улетучится. Поэтому планы довести приток речных вод в 1995 г. до $11 \text{ км}^3/\text{год}$, в 2000 г. — $15\text{—}17 \text{ км}^3/\text{год}$ и к 2005 г. — $20\text{—}31 \text{ км}^3/\text{год}$ окажутся бессмысленными.

Что же касается Каспия, то выведенный из устойчивого состояния равновесия исключительным маловодьем Волги в 30-е годы и недолго продержавшийся на отметке —28,3, в настоящее время он релаксирует к своему более устойчивому верхнему уровню. Если в ближайшие годы Каспий пройдет неустойчивую область (—26,4 м), то возникнет большая вероятность стабилизации уровня моря у отметки —25,5 м.

«Слуга» моря

В. П. Федин



Валерий Павлович Федин, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий геолог Туркменской геолого-разведочной экспедиции производственного объединения «Туркменгеология». Более 30 лет занимается поисковыми и разведочными работами, геохимическими исследованиями минеральных солей и природных рассолов на Кара-Богаз-Голе. Опубликовал более 70 научных статей, научно-популярных и методических брошюр.

КАРА-БУГАЗ в одноименной романтической повести К. Паустовского, написанной в конце 20-х годов; Кара-Богаз-Гол на картах более позднего советского периода; Гара-Богаз-Гол в независимом ныне Туркменистане — все это названия обширного залива на восточном побережье Каспийского моря. Туркмены издавна именovali его Аджидарья или Куулидарья, что в переводе означает «горький колодец» и «слуга моря». Последнее название звучит символично в современную эпоху — в экстремальных ситуациях, связанных с Каспием, было принято «внимать» Кара-Богаз-Гол, гигантский испаритель воды.

Тридцать лет назад, когда уровень Каспийского моря начал резко падать и

появилась угроза для большинства портов, причалов, рыбного промысла, возник проект отсечения от Каспия Кара-Богаз-Гола, осуществленный в 1980 г. Но за этим последовало катастрофическое осушение залива, образование гигантской по своим масштабам мертвой, соляной пустыни. В 1984 г. пришлось частично возобновить связь моря с заливом, чтобы приостановить новую экологическую напасть. Наконец в июне 1992 г. дамба, разделяющая море и залив, была полностью демонтирована по решению правительства Туркменистана. Морская вода, принудительно сдерживаемая почти десятилетие, хлынула по проливу со скоростью 650—800 м³/с. Начался период интенсивного наполнения Кара-Богаз-Гола морской водой.

Залив расположен между 40° и 42° с. ш. и 52,5° и 54,5° в. д. В своих коренных берегах он охватывает площадь около 18 тыс. км², от Каспийского моря отделен северной и южной песчаными косами, которые вытянуты в меридиональном направлении более чем на 90 км.

Берега Кара-Богаз-Гола осложнены овражной сетью и террасовидными уступами на отметках минус 12—17 м, минус 2—4 м, 40—42 м абс. высоты, которые соответствуют максимальным уровням каспийских трансгрессий в позднечетвертичную и новокаспийскую стадии.

Связь между морем и заливом осуществляется благодаря проливу. До 1980 г. это было извилистое русло протяженностью 8 км, шириной 110—120 м и глубиной 2—4,5 м. В концевой части его дно приподнято, так как здесь пролив пересекает каменистая гряда, образуя естественный порог между морем и заливом. Высота уступа 4 м, что обуславливает одностороннюю связь моря с заливом уже более 50 лет. В период 1981—1984 гг. большая часть пролива, отделенная глухой дамбой, была осушена, дно его заросло травой и местами занесено песком. В конце июня 1992 г. русло возродилось, и к сентябрю 1993 г. ширина пролива достигла 350 м, а к концу года станет, видимо, полукилометровой. Порог между морем и заливом



Местоположение залива Кара-Богаз-Гол с отметками абс. высот (м), 1992 г.

все еще значительный, однако единственный в своем роде «морской водопад» уже преобразовался в «перекат».

Обрамляющая Кара-Богаз-Гол территория сложена осадочными породами, преимущественно четвертичными. Более древние меловые отложения иногда выходят на поверхность на восточном и южном побережьях.

В геоморфологическом отношении Кара-Богаз — обширная бессточная впадина, дно которой выработано в олигоценых глинах. Верхнеплейстоценовые и современные соленосные отложения залива имеют суммарную мощность до 50 м. Они сложены тремя соляными и двумя карбонатно-гипсовыми слоями. Соляные горизонты обладают высокой пористостью и пропитаны межкристалльными рассолами, в составе которых преобладают хлориды и сульфаты

натрия и магния. Наиболее широко распространен (около 85 % площади залива) второй соляной горизонт мощностью от 0,3 до 15 м.

Кара-Богаз занимает ведущее место среди разнообразных современных и ископаемых соленосных бассейнов. Минеральное сырье содержится в поверхностных и погребенных рассолах. Разведано два месторождения погребенных рассолов: Сартасское и Мыс Казах (не эксплуатируется). Рассолы извлекаются скважинами с глубины 10—12 м и по трубопроводу транспортируются на переработку. Ежегодно из недр Кара-Богаса извлекали 8—12 млн. м³ рассола, а с начала эксплуатации — 350 млн. м³. На старейшем в Туркменистане промышленном предприятии «Карабогазсульфат» производится сульфат натрия, бишофит, эпсомит, хлористый магний, глауберова и морская соль. Минерализация рассолов зависит от количества воды в заливе и ее испарения.

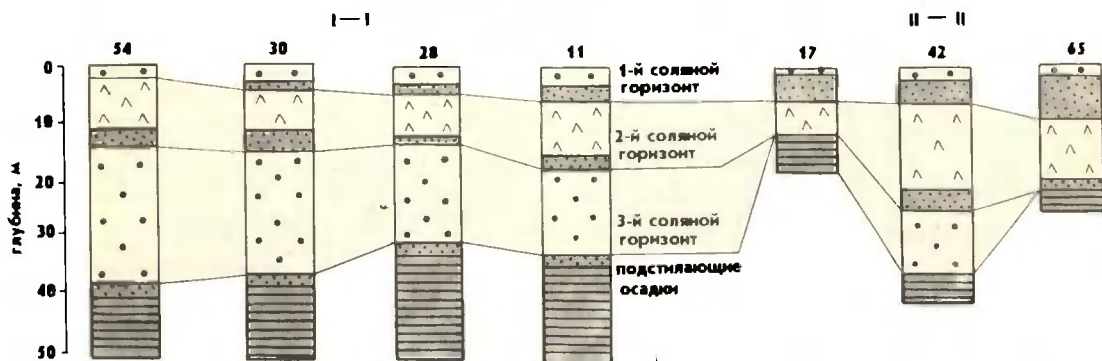
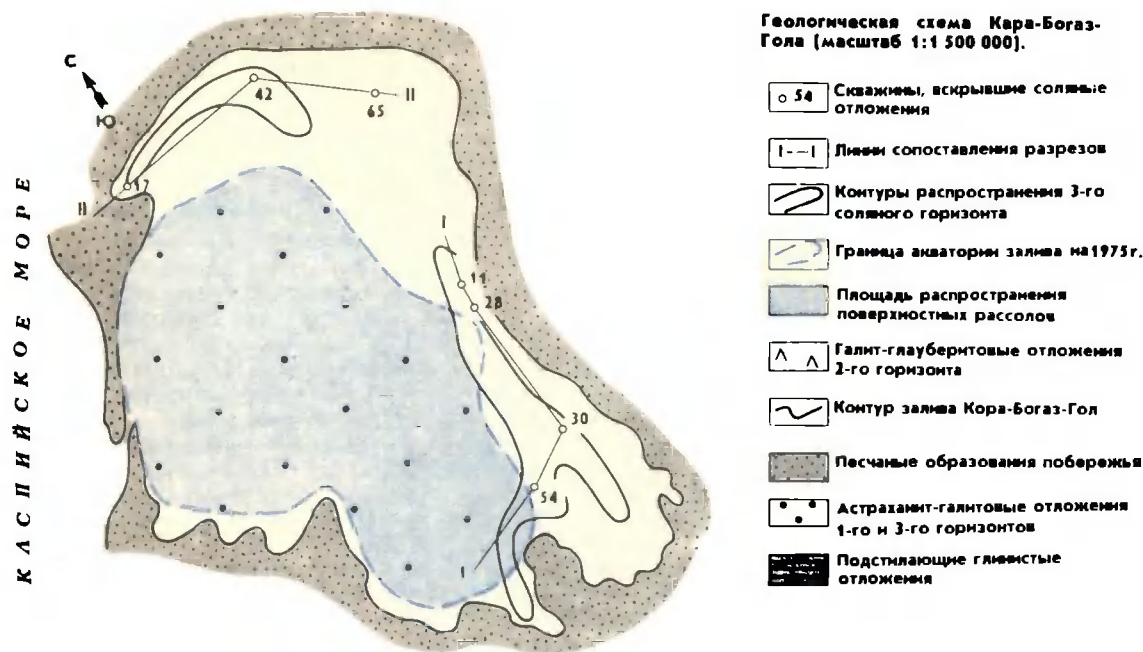
НЕУКРОТИМЫЙ ИСПАРИТЕЛЬ

Через обширную поверхность залива происходит обмен теплом и влагой с атмосферой. При этом из-за мелководности акватории тепловые волны проникают через всю толщу рассола, плотность которого (1,24—1,28 г/см³).

Объем акватории регулируется водным балансом залива. При дефицитном балансе водная масса сокращается, и для ее компенсации необходим дополнительный ресурс из источника питания (в данном случае из моря).

Дефицит водного баланса залива определяет испарение с поверхности. При различных размерах площади акватории Кара-Богаса в год испаряется слой воды толщиной от 700 до 900 мм. Другой важный параметр — глубина бассейна. Глубина мелководной акватории в течение 50-летнего периода (1940—1990 гг.) не превышает мощности активно испаряющегося слоя (1—6 м), и в дальнейшем более мощный слой не прогнозируется.

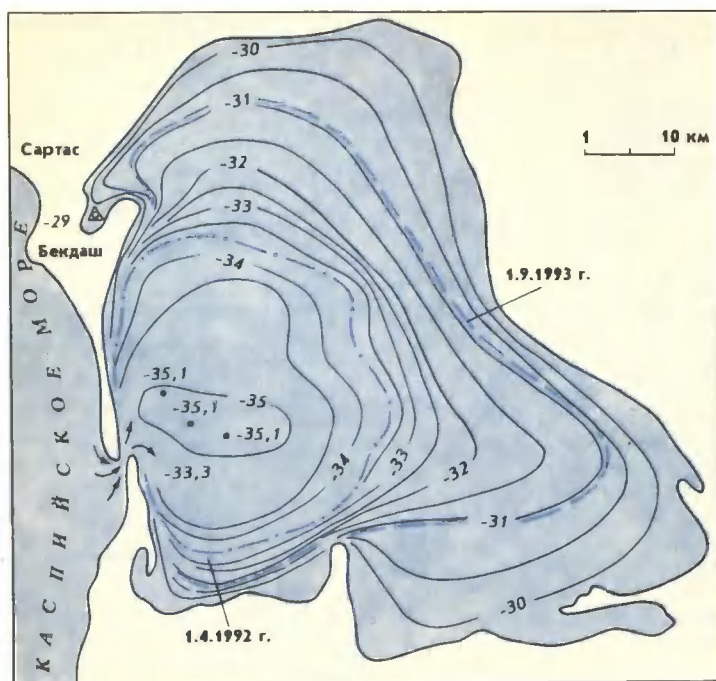
Следовательно, между испаряемостью рассолов и площадью акватории существует линейная зависимость: чем больше будет увеличиваться площадь, тем больше она будет возрастать, и при максимальной площади достигнет 10 км³/год. Потери воды при испарении происходят в течение 7 месяцев, в сезон высоких температур. В остальные 5 месяцев акватория накапливает водную массу.



Сегодня трудно сказать, с чьей легкой руки Кара-Богазу была отведена роль амортизатора Каспийского моря. Объяснялось это просто: забирая воду из моря, залив способствует сохранению достаточно низкой, по сравнению с океанической, минерализации воды в Каспии ($5-16^0/00$). Вместе с тем при подъеме уровня моря сток в залив усиливался, а при снижении сток сокращался, в результате чего соленость морской воды якобы сохраняла стабильность. Однако с 1980 по 1984 г. Каспийское море не отдавало заливу ни единого кубометра воды, но минерализация воды в нем практически не изменилась. На солености морской воды даже не отражается почти 1,5-метровый подъем уровня. С июня 1993 г. морская вода снова свободно

поступает в залив, и, в отличие от моря, не только минерализация, но и гидрохимия рассолов преобразуется существенно (таблица).

Оценим емкостные возможности залива, исходя из его параметров, характерных для весны 1992 г. В апреле прошлого года акватория, по данным батиметрических замеров, произведенных при вертолетных маршрутах, составила 4,65 тыс. км² (ее форма близка к округлой). Абсолютная отметка рассолов на западном уреze — 33,71 м; глубины в пределах акватории варьировали от 0,2 до 1,4 м. Таким образом, в самой глубоководной части отметка дна составила —35,11 м. Площадь акватории, очерчиваемая изогипсой —35 м, равна 650 м². В целом емкость акватории



План рельефа дна залива Кара-Богаз-Гол.

- 32— Абсолютные отметки, м
 ~~~~~ Границы акватории  
 • Станции замера глубин  
 ▲ Места промысла рассола

## Сравнительная характеристика рассолов акватории\*

| Зона акватории   | Глубина акватории, м | Солевой состав, % |                   |                   |       |      | Сумма солей, % | Минералы донного слоя            |
|------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|------|----------------|----------------------------------|
|                  |                      | карбонаты, Ca, Mg | MgSO <sub>4</sub> | MgCl <sub>2</sub> | NaCl  | KCl  |                |                                  |
| Западная (1)     | 0,3                  | 0,05              | 7,20              | 3,65              | 10,50 | 0,55 | 21,85          | Гипс, карбонаты кальция, магния  |
| Центральная (2)  | 3,10                 | 0,10              | 7,30              | 5,80              | 15,20 | 0,7  | 28,4           | Гипс, глауберит, мирабилит       |
| Западная (3)     | 0,3                  | 0,40              | 6,78              | 19,81             | 3,19  | 1,6  | 30,1           | Галит, эпсомит                   |
|                  | 1,0                  | 0,42              | 6,42              | 20,77             | 2,33  | 1,71 | 31,5           | —»— —»—                          |
| Центральная (4)  | 0,5                  | 0,38              | 7,65              | 19,10             | 3,52  | 1,85 | 32,0           | —»— —»—                          |
| Западная (5)     | 0,3                  | 0,065             | 5,01              | 1,45              | 15,83 | 0,29 | 22,9           | Карбонаты кальция, магния, галит |
| Юго-западная (6) | 0,3                  | 0,134             | 3,41              | 1,79              | 9,79  | 0,17 | 15,2           | —»— —»—                          |

\* Пробы взяты до перекрытия стока морской воды, 1975 г. (1, 2); после перекрытия, 1981 г. (3, 4); после восстановления свободного морского стока, 1993 г. (5, 6).

для наполнения имеет следующие параметры: площадь — 14,975 тыс. км<sup>2</sup>, средняя глубина — 2,76 м, объем емкости — 40,3 км<sup>3</sup>. При свободном притоке воды из Каспия (без учета испарения) для наполнения такой емкости потребуется 24 месяца. С учетом испарения в объеме 9 км<sup>3</sup>/год этот срок возрастает до 4 лет.

После устранения дамбы свободный сток морской воды в 1993 г. составил

700—750 м<sup>3</sup>/с (20—22 км<sup>3</sup>/год). В этой гидрологической ситуации площадь залива наполнится морской водой значительно раньше, чем прогнозировалось. Каспийское море, объем водной массы которого 98 тыс. км<sup>3</sup>, при ежегодном изъятии 20—22 км<sup>3</sup> (слой воды толщиной 0,6 см) со всей площади теряет всего 0,25 % своей массы. Эта величина, вероятно, неспособна приостановить дальнейший подъем уровня Каспия.

К тому же остается непредсказуемой амплитуда подъема уровня моря в последующие годы.

Если допустить, что в залив можно сбросить 1 % объема каспийской воды, что составляет 980 км<sup>3</sup>, то даже при максимальном годовом стоке порядка 50 км<sup>3</sup> для этого потребуется более 15 лет. Но чтобы на площади 18 тыс. км<sup>2</sup> вместился этот объем воды, необходимы глубины порядка 50 м.

Такую фантастическую глубину в заливе предположить нельзя, так как при наполнении его до отметки —27 м (глубина — 8 м) связь между морем и заливом становится двусторонней. При самых «благоприятных» для Каспия условиях Кара-Богаз может накопить не более 120 км<sup>3</sup> морской воды.

### УНИКАЛЬНАЯ ПРИРОДНАЯ МОДЕЛЬ

Какой бы ни была дальнейшая судьба Кара-Богаз-Гола, этот удивительный природный объект заслуживает пристального внимания естествоиспытателей. Не стоит забывать, что Кара-Богаз — один из немногих современных соляных бассейнов, в котором кристаллизация солей уникально масштабна и многообразна. Многие исследователи считают, что гидрологические, химические, геохимические и физико-химические процессы, которые проявляются в заливе, были широко распространены в солеродных бассейнах прошлых геологических эпох. Исследование формирования гидрохимической зональности и осадконакопления в Кара-Богазе имеет большое значение при восстановлении условий формирования или разрушения ассоциаций породообразующих комплексов эвапоритов и палеогеографических обстановок, сопутствующих соленакоплению, многообразных условий гидрологического режима обширных древних водоемов. Здесь начиная с конца XIX в. уточнялись и продолжают уточняться многие положения эвапоритовой концепции галогенеза.

Более 100 лет назад на Кара-Богазе родилась теория барров молодого немецкого геолога К. Оксениуса, сыгравшая важную роль в развитии взглядов на условия образования месторождений солей. Найдено подтверждение такому глобальному свойству природных растворов, как метаморфизация.

На основании многолетнего изучения гидрохимического состава рассолов и распределения донных осадков, формирующих

ся в динамическом гидрологическом режиме залива, определена зональность осадконакопления в древних солеродных бассейнах.

Кара-Богаз-Гол в числе других соляных объектов предоставил исходный материал для расчета объемных соотношений жидкой и твердой фаз — основного физико-химического фактора образования и сохранения залежей в недрах, а также для расшифровки динамики минералообразования.

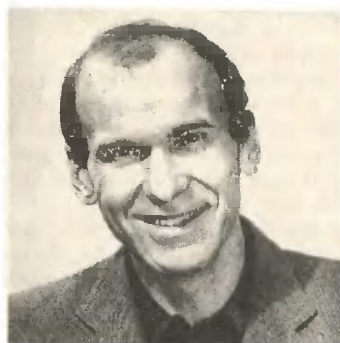
В начале 80-х годов Кара-Богаз дал новые доказательства в пользу осадочной природы галогенеза. Период, когда залив существовал как изолированный бассейн, свидетельствует о весьма интенсивном темпе соленакопления: за три испарительных сезона здесь на площади более 10 тыс. км<sup>2</sup> отложился полуметровый слой хлоридов и сульфатов. Эти факты достаточно убедительно подтверждают исключительно высокие темпы галогенного осадконакопления.

Кара-Богаз относится к мелководному солеродному бассейну. Открытие соленосных серий значительной мощности в донной толще некоторых глубоководных впадин Средиземного моря, Мексиканского залива, в отдельных зонах Северной и Южной Атлантики является веским доказательством того, что среди древних солеродных бассейнов имели значительное место сравнительно глубоководные (более 30 м). Таким образом, различие палеоструктурных условий бассейнов соленакопления (мелководные и глубоководные) заставило обратиться к исследованию механизма стратификации водных масс. В этой связи неocenимое значение приобретает интересное явление, происходившее в Кара-Богаз-Голе в 60—70-х годах и безусловно имевшее место в древних водоемах, — дифференциация солей в движущемся потоке раствора. Она вызывала сомнения у многих исследователей и не нашла отражения в модели соленакопления Оксениуса, несмотря на то, что исходным вариантом модели был все тот же Кара-Богаз.

Уже больше года залив наполняется водой. Открыта новая страница в его исторической летописи. Сейчас невозможно предсказать, какой новый научный материал предоставит нам Кара-Богаз. Но безусловно, этот удивительный залив — неисчерпаемый банк данных. Следовательно, научный интерес к нему не может ослабевать.

# Дельта Волги

А. А. Свиточ



Александр Адамович Свиточ, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник географического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Специалист в области палеогеографии новейшего геологического периода, корреляции природных событий плейстоцена, стратиграфии четвертичных отложений.

**К**РУПНЕЙШАЯ река Европы Волга начинается среди лесов и болот Валдая мелким ручейком, а заканчивается в Каспийском море большим количеством рукавов и протоков, разрезающих низменное пустынное побережье на множество островов. В плане дельта Волги образует огромный треугольник, похожий на греческую букву «дельта», занимающий площадь около 21 тыс. км<sup>2</sup>.

Современная дельта Волги — сложная природная система, изменяющаяся на глазах из-за резкого подъема уровня Каспия в последние 15 лет. Уже затоплены обширные участки морского края дельты и часть ее островов, прилегающая к этой зоне, низкая пойма почти не обсыхает, отмечается подтопление и подъем уровня грунтовых вод. При существующих темпах трансгрессии моря

(около 15 см/год) современная дельта Волги исчезнет через три—четыре десятка лет. В сложившейся обстановке эффективность осуществляемых и предполагаемых мероприятий по защите дельты в значительной степени зависит от знания ее строения и истории развития. Известно, что в процессе геологической истории взаимодействия Каспий неоднократно наступал на дельту Волги, и это отражалось в строении устьевой части волжской долины.

## СЛОЕННЫЙ ПИРОГ ОСАДКОВ

Дельта Волги располагается на границе южных районов Прикаспийской впадины и складчатых сооружений вала Карпинского, в пределах крупного Астраханского поднятия — огромного газового месторождения. Дельту слагает мощный покров рыхлых отложений, верхняя часть которых состоит из разнообразных песчано-глинистых четвертичных осадков мощностью до 350 м. Среди них выделяются все основные подразделения четвертичной системы. Нижнечетвертичные и среднечетвертичные отложения представлены осадками бакинской и хазарской трансгрессии Каспия, глинистыми по составу, содержащими раковины основных видов морских моллюсков. Верхнечетвертичные отложения более разнообразны и состоят из континентальных ательских супесей (по древнему названию Волги — Атель) и осадков великой хвалынской трансгрессии, заливавшей в максимум своего развития около 20 тыс. лет назад всю Прикаспийскую низменность до Ергеней и Заволжских Сыртов.

Разрез новейших отложений дельты заканчивается осадками самой молодой — новокаспийской трансгрессии моря и венчающими их речными и дельтовыми накоплениями Волги. Последние, достигающие мощности 10—12 м, в литолого-фациальном отношении весьма разнообразны. В мористой части дельты это обсыхающие во время сгонов черные глинистые авандельтовые пески, с многочисленными раковинами солоноватоводных и пресноводных моллюсков. Севернее располагаются пески собственно дельто-



Среди степей и полупустынь Нижнего Поволжья дельта Волги — настоящий оазис голубой речной и озерной глади, пышной растительности, царства водоплавающих птиц, моллюсков, водных насекомых и рыб.

вые либо култучные, формирующиеся в заливах (култуках). В центральных частях дельты пески образуют поверхность самых низких участков. Вверх по течению они сменяются пойменными (полойными) и русловыми (проточными) образованиями. Пойменные отложения образуют поверхность большей части дельтовой равнины Волги. По составу это слоистые суглинки или пески с карбонатами, пятнами ожелезнения, растительными остатками и раковинами пресноводных моллюсков.

Днища многочисленных волжских рукавов и протоков также заполняют пески с линзами супесей и илов, с раковинами пресноводных моллюсков. Среди венчающих разрез современных отложений дельты отмечаются и сугубо наземные (субаэральные) образования — песчаные золотые массивы в западных и северо-восточных районах и осадки на склонах бэровских бугров.

По площади и разрезу отложения дельты образуют определенные фациальные ряды, отражающие периодическую смену режима осадконакопления. По характеру набора фаций и условиям их сочленения ряды могут быть «нормальными» и «смешанными». Первые состоят из фаций, сменяющих друг друга в естественной последовательности, без заметных перерывов осадконакопления (морские — авандельтовые — дельтовые — аллювиальные и т. д.); вторые — из отложений, резко различных по условиям накопления, разделенных горизонтами размыва и перерыва (аллювиальные — субаэральные — морские).

Это разнообразие дельтовых отложений Волги определяется наличием устья крупной динамичной речной системы, выносящей огромное количество взвешенных (12,5 млн. т) и влекомых (2,5 млн. т) наносов, а также тем, что Волга впадает в бассейн с крайне нестационарным уровнем режимом, где постоянно мигрирует граница суша — море.

Большая часть осадков дельты относится к разновозрастным древнекаспийским об-



На космическом снимке дельта Волги представляет собой огромный веер речных проток, «разбегающихся» к югу от вершины дельты у села Верхнее Лебяжье, где от основного русла реки к востоку отходит крупный рукав Бузан. Основное русло реки и ее продолжение — р. Бехтемир — образуют западную границу дельты. К западу и востоку дельта «оперяется» участками бугристой равнины и залитых водой понижений между буграми.

разованиям и только самая верхняя их часть к отложениям современной дельты Волги. Поэтому дельта Волги и слагающие ее отложения — исключительно молодые образования второй половины голоцена и нынешней эпохи, не имеющие в ее современном местоположении древних аналогов. По данным радиоуглеродного анализа, их возраст около 5 тыс. лет и моложе.

В целом по структуре дельта напоминает огромный слоеный пирог из молодых и современных отложений мощностью до 12 м и более, состоящий из линз и слоев

разнообразных по составу и происхождению фаций осадков, залегающих на размытом ложе более древних пород.

### СТРОЕНИЕ ДЕЛТЫ

На периферии дельты — с запада и востока — располагаются так называемые подступные ильмена — ландшафты с большим количеством бэзовских бугров (впервые их описал К. Бэр). Они образуют системы гряд, между которыми находятся обсохшие или заполненные водой понижения.

Собственно волжская дельта начала формироваться около 5 тыс. лет назад, что совпало с максимумом новокаспийской трансгрессии Каспийского моря, подпрудившего долину Волги до отметок около —22 м абс. высоты. В настоящее время это высокая дельтовая равнина с плоским рельефом пойменных островов, обрешенных прирусловыми валами и гривами, разделенных прото-

ками и рукавами Волги, с активными процессами боковой и русловой эрозии.

Ее наиболее обширная центральная часть — зона активного дробления основных русел на рукава и протоки. Здесь сочетаются разновозрастные и разнородные элементы рельефа и ландшафты с разными типами строения. Самый молодой элемент системы — низменная равнина (низкая пойма), прорезанная большим количеством волжских протоков и рукавов. Повышенная дельтовая равнина — это участки обсохшей дельты, где располагается большинство селений и сельскохозяйственных угодий. Слагающие ее речные наносы значительно переработаны почвенными процессами. Местами среди плоской поверхности дельтовой равнины также возвышаются бэровские бугры, крупное скопление которых отмечается между руслами Бушмы и Бузана.

Приморская часть дельты — это наиболее молодое сухопутное образование в устье Волги, представляющее частично подтопленную низменность, прорезанную массой волжских протоков. Она отделена от расположенной южнее затопленной дельты (авандельты) зоной постоянно изменяющегося уровня суша — море.

Подводное продолжение дельты (авандельта) — самая динамичная, активно формируемая и перестраиваемая устьевая структура Волги. Сложенная толщей дельтовых песков, она слабо наклонена к югу, илистое дно авандельты заросло водолубивой растительностью, исчезающей на глубинах 1,5—2 м.

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ

Имеющиеся геологические материалы по Нижнему Поволжью позволяют проследить историю долины Волги и ее устья в прошлом.

Первые следы существования долины пра-Волги в Северном Прикаспии относятся к среднему плиоцену (около 7 млн. лет назад). Восточнее современной долины Волги на глубине 300—500 м от поверхности бурением обнаружена крупная погребенная долина, врезанная на сотни метров в мел-палеогеновые породы. Древнее днище долины частично сложено гравиино-галечными отложениями, содержащими обломки раковин пресноводных моллюсков. Дельта этой древней (кинельской) реки, по-видимому, располагалась далеко к югу, в области котловин Каспийского моря. Между залегающими выше апшеронскими и бакинскими отложениями также обнаружены пресноводные осадки, содержащие раковины пресноводных мол-

люсков. В более верхних частях разреза волжской долины бурением установлены пески соликамской, венедской и кривичской речных свит. В обрывах волжской долины вскрываются еще более молодые речные и озерные осадки.

О местонахождении дельт всех этих крупных речных систем пра-Волги почти ничего не известно. Можно лишь предположить, что дельты соликамской, венедской и черноморской долин располагались выше Астрахани, а дельта ательской долины, относящаяся к эпохе глубокой регрессии Каспия, находилась в пределах его современной акватории.

В сингильскую (послебакинскую) эпоху, судя по составу отложений этого времени, широко развитых в долине Нижней Волги и Западном Прикаспии, устье пра-Волги было подтоплено и напоминало систему современных днепровско-бугских и дунайских лиманов.

Дельты Волги последних 20 тыс. лет, в отличие от более древних эпох, хорошо выражены в осадках и современном рельефе Северного Прикаспия, их развитие реконструируется достаточно полно. За эту непродолжительную эпоху устье Волги последовательно меняло свое строение — от протяженного эстуария во время максимума раннехвалынской трансгрессии, врезанной буристой (бэровской) дельты в регрессивные фазы позднехвалынского моря, до много-рукавной лопастной дельты ныне.

В одну из заключительных стадий регрессирующего позднехвалынского моря (8—7 тыс. лет назад) образовались дельты Сарпинско-Даванской и Волго-Ахтубинской ложбин Волги, выраженные в рельефе грядово-холмистым рельефом бэровских бугров. По-видимому, бугры возникли на обширных мелководьях отступающего моря, а в дальнейшем, по мере спада уровня воды, на участках авандельты и мелководий взморья из-за характерного сочетания направлений многочисленных протоков в дельтах и нагонов с моря, определяемых положением древней береговой линии Каспия. Следует отметить, что бугры формировались в достаточно короткое время (сотни — несколько тысяч лет), и в истории взаимодействия реки с Каспием ранее и позднее условий для их образования больше не возникало.

В послехвалынское время уровень моря упал до отметок —50 м абс. высоты, а дельта Волги располагалась на осушенном дне Северного Каспия. Русло глубоко врезалось в осадки, по периферии дельты в западных и восточных подступных ильменах были частично размыты хвалынские отложе-



Многочисленные рукава дельты питают засоленные земли северо-западного Прикаспия.

ния, а в ее центральной и восточной частях существовали два широких рукава Волго-Ахтубинской долины, по которым Волга стекала в море.

Итак, вся предыстория дельты Волги указывает, что крупная речная система, соизмеримая с современной долиной, с постоянно мигрирующим устьем, периодически существовала в Нижнем Поволжье. При этом все периоды совпадают со временем низкого уровня древнего Каспия, отмечавшегося последние 7 млн. лет.

В конце позднего плейстоцена — начале голоцена устье Волги представляло собой глубокий эстуарий, а затем врезанную и холмистую-грядовую дельту. Современная дельта Волги имеет мало общего с непосредственно предшествовавшими ей хвалынскими дельтами. Это типичная многорукавная дельта лопастного типа с множеством протоков и русел, часто выдвинутых в море и обрамленных приустьевыми косами, «отшнуровывающими» заливы.

Строение новейших отложений современной дельты указывает на стадийность ее формирования, начавшегося с накопления осадков аванделы во время максимума новокаспийской трансгрессии, когда в устье Волги до абсолютных отметок —20 (—22) м располагался обширный морской залив, в центре и на конце которого накапливались авандельтовые илистые пески и алевриты Волго-Ахтубинской протоки, впадавшей в залив с севера.

Второй этап развития современной дельты связан с последующей фазой новокаспийской трансгрессии, достигавшей отметок —25 м абс. высоты и вызвавшей активное накопление илистых осадков. Судя по содержащимся в них раковинам преимущественно пресноводных моллюсков, это были пресные, реже — слабосоленоватые водоемы со спокойными, часто застойными условиями осадконакопления. В это время в верховьях дельты уже существовали основные протоки Волго-Ахтубинской долины: Волга, Бузан, Кигач, Ахтуба, nasledующие более древние ложбины стока.

На последнем, третьем этапе форми-

|            | эпоха           | отложения | мощн.<br>м    | дельты Волги (тыс. лет назад)        |
|------------|-----------------|-----------|---------------|--------------------------------------|
| ГОЛОЦЕН    | НОВО-КАСПИЙСКАЯ |           | до 12         | СОВРЕМЕННАЯ<br>(5 - 0)               |
|            |                 |           | 6 - 7         |                                      |
|            |                 |           | до 10         |                                      |
| ПЛЕЙСТОЦЕН | ХВАЛЬЦИНСКАЯ    |           | до 20         | ПОЗДНЕХВАЛЬЦИНСКАЯ<br>(8 - 7)        |
|            |                 |           | до 5          | РАННЕХВАЛЬЦИНСКАЯ<br>(11 - 10)       |
|            | АТЕЛЬСКАЯ       |           | до 25         | АТЕЛЬСКАЯ<br>(80 - 30)               |
|            | УАЗАРСКАЯ       |           | 40 - 50       | КРИВИЧСКАЯ (ЧЕРНОЯРСКАЯ)<br>(~ 120)  |
|            | СИНГИЛЬСКАЯ     |           | 3 - 7         | СИНГИЛЬСКАЯ<br>(~ 350)               |
|            | БАКИНСКАЯ       |           | больше<br>300 | ВЕНЕДСКАЯ (~ 400)                    |
|            |                 |           |               | СОЛИКАМСКАЯ (~ 500)                  |
| ПЛЕЙСТОЦЕН | ТЮРКЯНСКАЯ      |           | 3 - 5         | СЫРТОВАЯ (ТЮРКЯНСКАЯ)<br>(800 - 600) |
|            | АПШЕРОНСКАЯ     |           | 200 -<br>300  |                                      |
|            | АКЧАГЫЛЬСКАЯ    |           | 300 -<br>400  |                                      |
|            | КИЧЕЛЬСКАЯ      |           | 3 - 5         | КИЧЕЛЬСКАЯ (КУШУМСКАЯ)<br>(~ 7000)   |

Геологический разрез новейших отложений дельты включает все основные подразделения позднего плейстоцена и четвертичной системы и состоит из разнообразных в литологическом отношении морских, речных и озерно-лиманных отложений, с господством осадков древнего Каспия. На периоды падения уровня Каспийского моря приходятся эпохи существования долины и устья древней Волги.

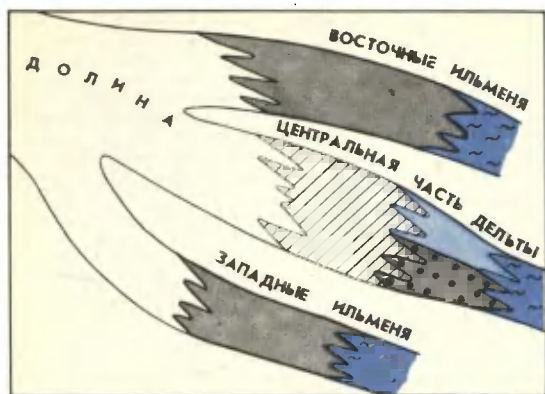
## Отложения:

- морские
- речные
- озерно-лиманные
- Перерывы в осадконакоплении
- Гравий, галька
- Пески
- Супеси
- Алевриты
- Илы
- Глины
- Раковины
- Растительные остатки

рования дельты, уже в историческое время, резко увеличилась роль речных процессов. Образовались долинные элементы рельефа — террасы, русла, острова, преобладал речной тип осадконакопления. Уровень Каспия в целом падал и в 1975 г. достиг отметки — 29 м. Надводная и подводная дельты активно заполнялись наносами Волги, энергично выдвигавшими дельту к югу.

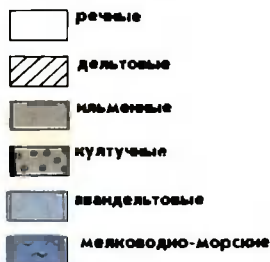
Процесс нарастания дельты, реконструированный по историческим данным и современным картам, был неравномерным. Он прямо соотносится с положением уровня Каспия, который после низкого стояния с середины V до начала XIV в. начал под-

ниматься, достигнув максимума в конце XVIII — начале XIX в. В это время в восточной части дельты существовали два крупных открытых к морю залива — Синее Морцо и Кабанкуль, располагавшиеся до широт Астрахани. Они заполнялись осадками сравнительно недавно, в середине — конце XIX в. Современный облик волжской дельты во многом связан с новой активизацией речных процессов, обусловленных последним периодом низкого стояния Каспия, начавшегося с резкого падения уровня в конце 30-х годов нынешнего столетия. Морской край дельты выдвинулся в море с 1910 по 1988 г. на 10—50 км, заливы, частично вы-



Для разных районов дельты характерны свои типы осадков. В собственно дельте это сочетание аллювиальных, дельтовых-аванделетовых и прибрежно-морских, либо аллювиально-дельтово-култуковых и прибрежно-морских. Для западной и восточной периферии характерны аллювиальные и ильменные, ильменные и прибрежно-морские фации.

#### Отложения:

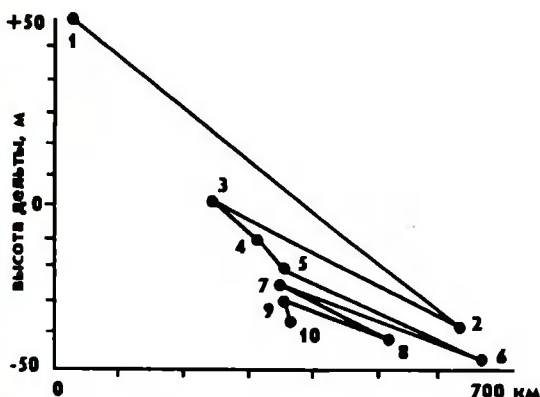


сохнув, сместились к аванделету, в которой появилось множество островов.

Новый подъем уровня Каспия начался с 1976 г., к концу 1992 г. он достиг отметки — 27,05 м абс. высоты. При этом резких изменений природных процессов в наземной части дельты пока не отмечается. В зоне же авандельты затоплены низменные участки приморской дельты, резко нарастает глубина, исчезли острова, сместился к северу пояс гидрофитной растительности. Процесс, очевидно, нарастает и может принять в дальнейшем катастрофический характер.

### О ВОЗМОЖНОМ БУДУЩЕМ

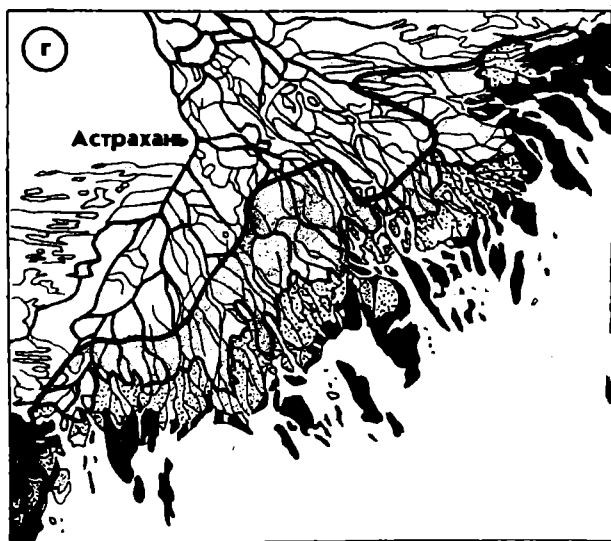
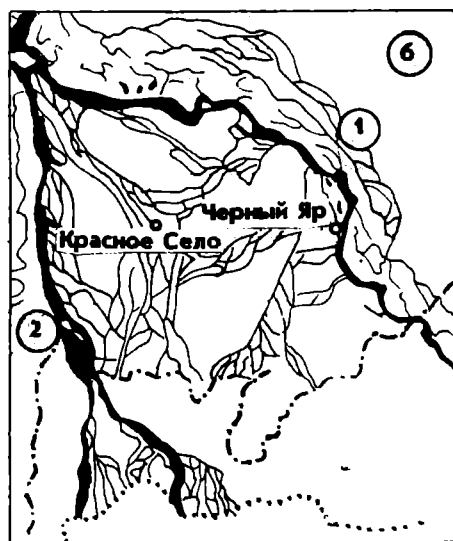
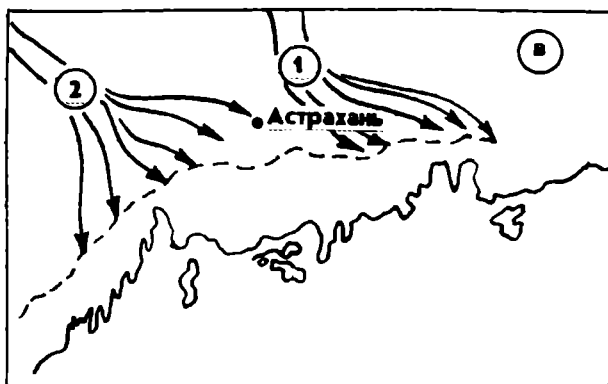
Рассмотрим несколько оптимистических и пессимистических сценариев возможного поведения уровня Каспия и его влияния на дельту. Согласно первому (оптимистическому) сценарию, уровень Каспия поднимается и стабилизируется на отметках —26 и —25 м абс. высоты, где он находился значительное время в XIX — начале XX в., что бы-



Амплитуда изменения гипсометрического и пространственного положения дельты Волги в рельефе Северного Прикаспия за последние 20 тыс. лет. Дельта опускалась от отметок +50 м абс. высоты во время максимума раннехвалынской трансгрессии 15 тыс. лет назад (1) до —50 м в эпоху мангышлякской регрессии (6), горизонтальная амплитуда составила около 700 км. 2 — енотаевская регрессия (10 тыс. лет назад); 3 — максимум позднихвалынской трансгрессии (9 тыс. лет назад); 4 — врезанные дельты эпохи ранней позднихвалынской регрессии (позднее 9 тыс. лет назад); 5 — «бугристая» (бэровская) дельта эпохи позднихвалынской регрессии (ранее 7 тыс. лет назад); 7 — максимум новокаспийской трансгрессии (около 5—2 тыс. лет назад); 8 — дербентская регрессия (V—XIV вв.); 9 — поздняя фаза новокаспийской трансгрессии; 10 — современная дельта.

ло вызвано высоким стоком Волги и регулируемым оттоком избыточных каспийских вод в заливы Мертвый Култук и Кайдак. В этом случае наиболее заметные изменения ожидаются в морской части дельты — здесь увеличится роль морских течений, волнений, сгонно-нагонных явлений, сместятся к северу заросли гидрофитной растительности. Одновременно спокойные условия осадконакопления сменят более динамичные — морские мелководные, низменные участки приморской дельтовой равнины и южных участков ильменей будут затоплены. В центральной части дельты будет отмечаться подтопление низменной равнины, селений и сельскохозяйственных угодий, дробление и обмеление приток и рукавов, последствия нагонов станут разрушительнее. В верховьях дельты повысится уровень грунтовых вод, уменьшится скорость эрозионных процессов, усилится аккумуляция наносов на пойме.

Второй (тоже оптимистический) сценарий: подъем Каспия останавливается, а в ближайший период из-за уменьшения притока



Палеогеографические схемы развития дельты Волги. В максимум раннехвалынской трансгрессии (а) море заливало всю Прикаспийскую низменность к северу от г. Камышина. Подтопленная долина пра-Волги представляла собой узкий протяженный эстуарий, заполненный холодными слабосоленоватыми водами, вытянутый на 500 км до Самарской Луки. Когда уровень позднихвалынского моря начал падать около 9—7 тыс. лет назад (б), волжская вода сбрасывалась по современной долине Волги (1) и Сарпинско-Даванской ложбине (2). В заключительную регрессию позднихвалынского моря (в), в эпоху активного образования бэровских бугров, существовали Волго-Ахтубинская (1) и Сарпинско-Даванская (2) древние долины. В XIX—XX вв. дельта интенсивно нарастала (г).

Южная граница дельты в 1830 г.

Нарастание площади к:

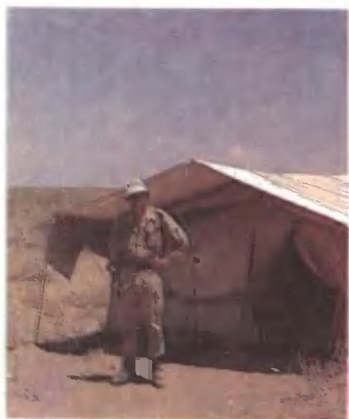
1873 г. 1927 г. 1945 г.

речных вод либо увеличения испарения уровень моря вновь опустится до отметок около —28 м абс. высоты, характерных для середины XX в. В этом случае природные процессы в дельте будут напоминать относительно недавние, когда надводная дельта активно нарастала к югу и увеличивалась по площади, господствовала речная гидрологическая обстановка, расширялся пояс гидрофитной растительности авандельты и т. д.

Пессимистический вариант связан с возможным подъемом Каспия до уровня максимума новокаспийской трансгрессии (—20, —22 м), происходившего 5—3 тыс. лет назад, а возможно, и выше, либо его падением до —35 м абс. высоты (либо до —50 м), что отмечалось в эпохи последних регрессий. При том или ином ходе событий дельта Волги в современном виде перестанет существовать и переместится к северу либо на акваторию Северного Каспия.

# Поведение и образ жизни серого варана в песчаной пустыне

А. Ю. Целлариус



Алексей Юрьевич Целлариус, кандидат биологических наук, руководитель программы «Варан» — независимой группы при Обществе любителей дикой природы (Санкт-Петербург). Основная область исследований — экология пресмыкающихся пустынной зоны.

**С**ЕРЫЙ ВАРАН (*Varanus griseus*) — единственный представитель рода варанов на территории СНГ и один из двух видов этого рода, включенных в «Красную книгу МСОП» — населяет пустыни, предгорья и долины рек Северной Африки, Ближнего Востока, Средней Азии и западных районов Индии. В Средней Азии площадь земель, пригодных для его обитания, неуклонно сокращается<sup>1</sup>.

Когда в 1989 г. мы организовали группу по изучению редких видов пресмыкающихся и в качестве основного объекта исследований выбрали серого варана, в наши планы входило только добротное описание экологии этого вида<sup>2</sup>. Однако вскоре мы столкнулись с тем, что поведение варанов гораздо сложнее, чем нам представлялось. К сожалению, мы не могли резко изменить программу исследований и полученных данных явно недостаточно для серьезного этологического анализа. Однако эти данные заслуживают внимания, хотя бы потому, что они существенно расходятся с устоявшимся мнением о рептилиях как о животных с примитивным поведением, основанном на простых, стереотипных реакциях.

Мы вели исследования на западной окраине пустыни Кызылкум в 1990—1993 гг. Здесь представлены два контрастных ландшафта: песчаная пустыня и тугайный лес в

© Целлариус А. Ю. Поведение и образ жизни серого варана в песчаной пустыне.

<sup>1</sup> Подробнее см.: Горелов в Ю. К. Серый варан // Природа. 1983. № 4. С. 54—57.

<sup>2</sup> Исследования были начаты при поддержке директора Узбекского зоокомбината Р. С. Зияева и Госкомприроды СССР. После распада Союза работы финансировались за счет благотворительных пожертвований акционерного общества «Фирма ЛИКО» и малого предприятия «АЛГА—ЭКО». Бессменным участником всех полевых работ был сотрудник нашей группы Ю. Г. Меньшиков, упорству и самоотверженности которого группа обязана многими уникальными наблюдениями. Большую помощь в организации работ и сборе материала оказали В. А. Черлин, С. А. Шепилов, С. Г. Давтян, Н. Б. Ананьева, А. М. Мурашев, Э. Ю. Портнов, А. М. Захаров, Т. А. Макарова, К. Д. Мильто, Г. В. Колонин, В. М. Макеев, А. Т. Божанский, И. А. Мухин, работники Минлеспхоза Узбекистана и Кызылкумского заповедника (особенно директор Т. К. Кадыров и охотовед К. Н. Джанкараев).



Коренной берег Амударьи — излюбленное место зимовки и весенней охоты серого варана.

Здесь и далее фото автора

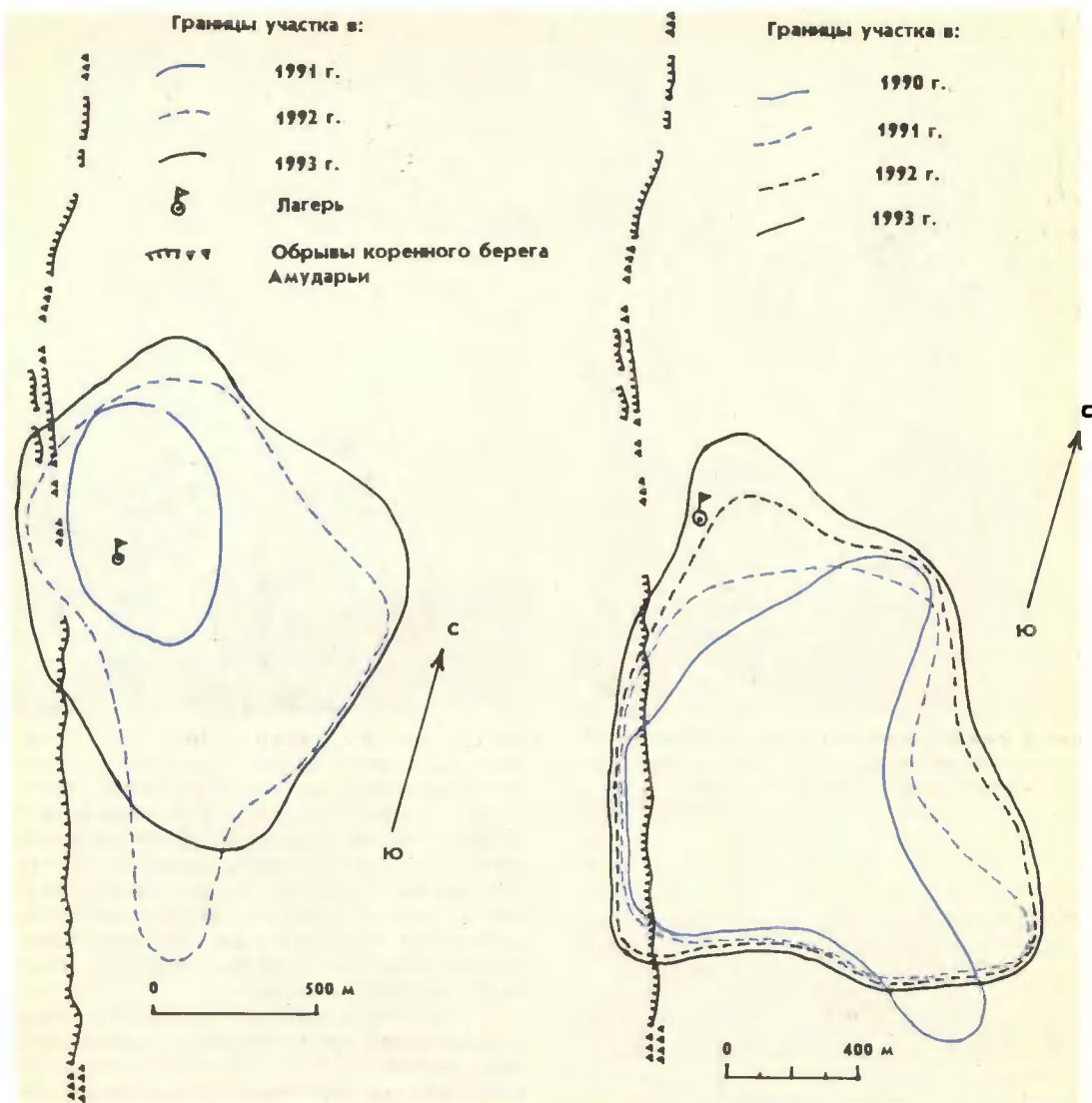
пойме Амударьи. Границей между ними служат крутые, обрывистые склоны коренного берега реки. Ландшафт песчаной пустыни типичен для Кызылкумов — бугристо-грядовые пески преимущественно под илаковыми белосаксаульниками. В песках высокая численность грызунов, в основном большой песчанки (*Rhombomys opimus*) и тонкопалого суслика (*Spermophilopsis leptodactylus*). Колонии большой песчанки, как жилые, так и заброшенные, имеют сложную систему подземных ходов, уходящих на глубину более 2 м и расположенных в 100—150 м друг от друга.

Каждой весной мы начинали свою работу с отлова выходивших с зимовки варанов. Животных измеряли, взвешивали, снабжали метками и через несколько часов после отлова выпускали в месте поймки. Большинство животных, помимо порядкового номера, получили клички, которые отражали «личные качества» варана или форму его следовой метки. В последнем случае возникали весьма причудливые прозвища, на-

пример Рюмка Набок. Подробно методика исследований, в том числе мечения, описана в специальных работах<sup>3</sup>. Для определения возраста у части варанов была ампутирована последняя фаланга одного из пальцев. (Материал обработан Э. М. Смириной, по настоятельной просьбе которой мы предупреждаем, что работа еще не завершена и оценка возраста некоторых особей может быть скорректирована.)

Плотность населения варанов в районе исследований составляет около шести взрослых особей на 1 км<sup>2</sup> (учеты проводились ежегодно, одновременно несколькими методами). Это обычная численность в песчаных пустынях, не затронутых деятельностью человека. Из 87 ящериц, отловленных на полигоне за четыре года работы было 65 самцов и 22 самки. Преобладание самцов отмечено для многих видов варанов, но удовлетворительно объяснить это пока не удается. Самцы серого варана крупнее самок:

<sup>3</sup> Целлариус А. Ю., Черлин В. А. Индивидуальное распознавание и новый метод мечения серого варана в полевых условиях // Герпетологические исследования. Вып. 1. Л., 1991. С. 104—118; Целлариус А. Ю., Черлин В. А., Меньшиков Ю. Г. Предварительное сообщение о работах по изучению биологии серого варана в Средней Азии // Там же. С. 61—103.



Изменение границ участка молодого самца по кличке Пай-Мальчик (год рождения 1988, длина тела в 1991 г. — 390 мм, в 1993 г. — 440 мм). До трех лет он жил на небольшом участке (около 20 га), а на четвертом году жизни резко расширил его границы. На следующий год варан не проявил склонности к экспансии.

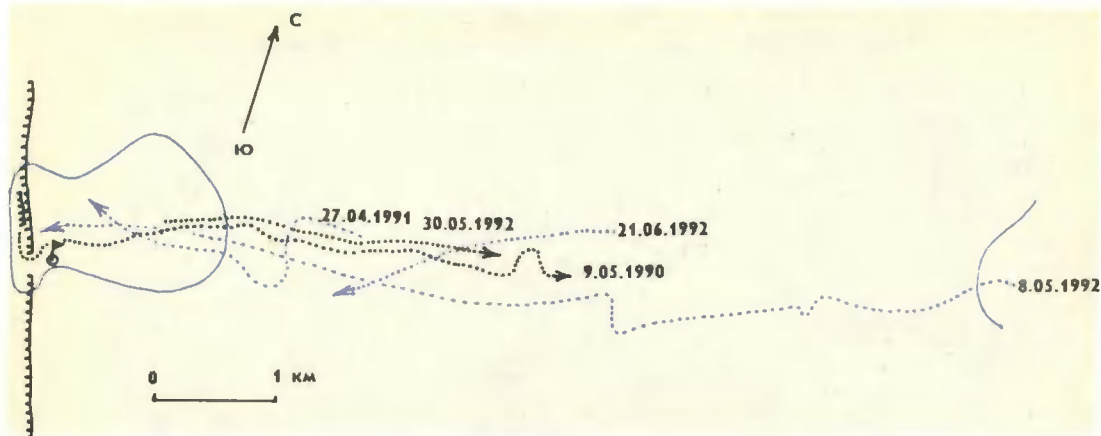
Участок оседлого самца [С-9, год рождения 1984]. Ящерица не стремится к освоению новых территорий, что достаточно типично для животных средней возрастной группы.

максимальная длина тела самцов — 620 мм, самок — 495 мм.

Возрастной состав популяции оценить сложно, так как легче отлавливаются старые, крупные животные, которые обладают определенными привычками, оставляют следы даже на плотном субстрате и могут втиснуться не во всякую нору. Из всех отлов-

ленных варанов возраст установлен только у 47. Самый старый из них, самец по кличке Вася, выпулился из яйца, вероятно, осенью 1975 г. Длина его тела около 580 мм, а вес в периоды максимальной упитанности 3,5 кг.

По характеру освоения пространства варанов условно можно разделить на три категории: оседлые, кочевники и бродяги.



«Поместье» кочевника, самца по кличке Вася (год рождения 1975, длина тела 580 мм). Пунктиром показаны прослеженные маршруты переходов между двумя участками «поместья».

Значительная часть варанов живет оседло, в пределах одного участка площадью от 40 до 150 га у разных особей. Какой-либо территории внутри этих участков, которая пользовалась бы особым вниманием варана, выделить не удалось. Оседлыми могут быть и самцы и самки всех возрастов и размеров, от годовиков с длиной тела 250 мм до старых самцов, но чаще всего — это животные среднего возраста — четырех-восьми лет. Расположены участки независимо друг от друга, и хозяин никогда не защищает свой участок от других особей. Почти все оседлые вараны могут отлучаться за пределы своего участка на несколько дней, а иногда даже неожиданно переселиться. Так появилась на нашем полигоне часть взрослых варанов, а другие исчезли. Причины, заставляющие варанов переселяться, нам неизвестны. Все случаи выселения за пределы полигона оседлых животных не связаны с изменением ни кормовых или защитных условий, ни социальной обстановки.

В отличие от оседлых варанов, кочевники — это в основном крупные (длина тела более 520 мм) самцы старше десяти лет. «Поместье» кочевника состоит из нескольких участков (каждый приблизительно такого размера, как участок оседлой особи), расстояние между ними может достигать 10 км. Переход с участка на участок обычно происходит в течение одного дня. Вараны, как правило, не останавливаются, на ночлег за пределами участков, по пути не охотятся и не обращают внимания на следы сородичей. Типичным примером кочевника мо-

жет служить уже упоминавшийся Вася. Его «поместье» состоит минимум из двух участков, расположенных приблизительно в 8 км друг от друга. Зимует Вася либо на восточном участке, в какой-нибудь колонии большой песчанки, либо на западном, в норе под обрывом. В любом случае сразу после зимовки он появляется на западном участке, который использует для весенней наживки. К началу брачного периода (вторая половина мая) Вася переходит на восточный участок, однако изредка (дней на пять) наведывается на западный. С конца июня, т. е. в разгар охотничьего сезона варанов, он окончательно перебирается на восточный участок и либо остается там на зимовку, либо снова возвращается к Амударье. Несколько раз мы замечали, что в период размножения Вася уходил и возвращался на западный участок с северо-востока. Не исключено, что у него есть еще освоенные территории, но ни расположение, ни назначение их нам неизвестны. Свои «поместья» кочевники так же, как и оседлые особи, не охраняют.

Бродяг, т. е. животных, не имеющих постоянного участка, среди взрослых варанов, видимо, немного, скорее это временное их состояние. Среди бродяг есть и самцы, и самки, однако последние встречаются редко. К бродяжничеству наиболее склонны молодые вараны до трех-четырех лет.

Численность оседлых особей и кочевников составляет около четырех особей на 1 км<sup>2</sup>. Состав этих постоянных жителей ежегодно обновляется приблизительно на треть, как за счет подрастающего молодняка и естественной смертности, так за счет миграций взрослых особей. Наиболее консервативной частью населения являются самки, которые даже в молодости менее, чем самцы, склонны к перемене мест.



Типичный ландшафт района исследований. Пески здесь почти сплошь задернованы, только на вершинах гряд травяной покров сильно разрежен или вообще отсутствует.

Хотя вараны и не охраняют свои участки от сородичей, однако в местах обитания оставляют сигнальные метки. Для этого ящерица прижимается клоакой к земле и ползет, сильно упираясь лапами и оставляя за собой полосу «выутюженного» песка — затир. Обычно этому предшествует прижатие хвоста к песку, для серого варана — это четкий признак беспокойства. Затир и по позе животного, и по форме следа явственно отличается от вытирания клоаки о субстрат после дефекации. Самцы делают затиры обычно или по следу другого варана, или в местах, представляющих для варанов особый интерес: на колониях песчанок, в местах ночевки (своих и других особей) и т. п. Взрослые самки делают затиры очень редко, обычно — по следу другой самки. Известно, что аналогично ведет себя еще один вид — пестрый варан (*V. varius*)<sup>4</sup>.

На протяжении года область наиболее благоприятных для варанов условий смещается из одного ландшафта в другой. В обрывах коренного берега реки подходящих для варанов убежищ меньше, чем в песках, однако под обрывами довольно много глубоких, неизвестно кому первоначаль-

но принадлежащих нор. Условия для зимовки варанов здесь почти идеальны, и сюда приходят зимовать большинство известных нам крупных самцов-кочевников и часть оседлых варанов, чей участок прилегает к обрывам. Весной склоны быстро прогреваются и здесь теплее, чем в тугае и песках. Кроме того, в норах и щелях обрывов зимует гюрза, которая перед тем, как рассредоточиться по тугаю, некоторое время держится на склонах и вдоль их подножия; много здесь и фазаньих гнезд. Весной обрывы становятся основными охотничьими угодьями большинства живущих поблизости варанов, сюда же в это время стягиваются многие кочевники. Их экскременты в этот период почти полностью состоят из чешуи гюрзы и скорлупы фазаньих яиц, тогда как у варанов, живущих в глубине песков, намного более постный рацион (тоже судя по экскрементам) — значительную его часть составляют крупные жуки.

Летом обрывы после восхода солнца нагреваются до 60—70 °С; фазаньих гнезда становятся редкостью, оставшаяся на обрывах гюрза переходит на ночную активность. Поэтому основным местом пребывания варанов становятся пески, а кормовым объектом — большая песчанка. Однако если долгое время им не удастся добыть что-либо существенное в песках, некоторые вараны посещают обрывы и летом. В 1992 г., когда численность песчанки была подкошена вспышкой чумы, вараны периодически спускались на обрывы и методически обследовали все традиционные убежища змей. Однако часть оседлых варанов (например,

<sup>4</sup> Carter D. B. // *Memoirs of the Queensland Museum*. 1990. V. 729. Pt. 2. P. 333—338.



Следовая метка на задней лапе варана. Эта метка оставляет отчетливый отпечаток на песке и позволяет вести наблюдения, не беспокоя ящериц.

Мафиози и Пай-Мальчик) до определенного возраста почти не посещали обрывы. Тугайный лес варанами освоен мало, видимо, потому, что весной здесь слишком прохладно, а летом мало корма. Кроме того, в тугае совсем нет привычных варанам убежищ.

Вараны очень хорошо ориентируются на местности. Например, весной 1992 г. Вася, выйдя утром из района зимовки на своем восточном участке, прошел за день до обрывов около 8 км, довольно строго выдерживая направление, и к вечеру вышел точно к норе, которую он многократно использовал для ночевки в предыдущие годы.

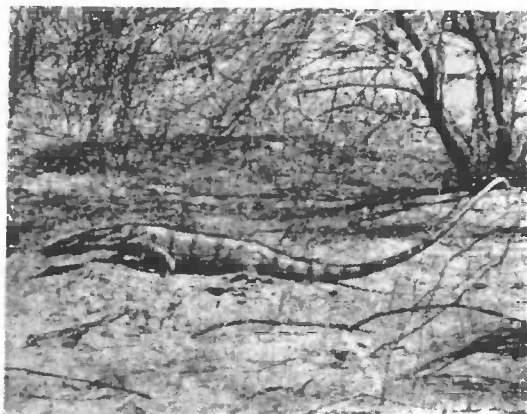
При освоении незнакомой территории вараны, видимо, используют своего рода коллективный опыт. У всех варановых хорошо развито ольфакторное чувство (обоняние), благодаря которому серые вараны могут учуять следы сородичей даже через сутки, а попав в незнакомые места, они быстро осваиваются, находят используемые местными варанами для ночевки норы и наиболее «перспективные» колонии песчанок. Не исключено, что подрастающий молодняк, обучаясь выбору убежищ и удобных для охоты мест, также опосредованно использует опыт взрослых животных. Известно, что бенгальские вараны (*V. bengalensis*) в незнакомой местности выбирают для ночевки только те деревья, на которых уже побывали другие

особи, хотя вокруг растут сотни не менее подходящих деревьев<sup>5</sup>.

Социальное поведение взрослых варанов меняется на протяжении их годового жизненного цикла, который складывается из пяти периодов. Самый продолжительный из них, зимовка, длится с начала октября по начало апреля. Во время следующего, до-репродуктивного периода, (с начала апреля до первой половины мая) вараны активно питаются. В установочный период (май, начало июня) вараны очень живо интересуются другими особями и их следами, самцы активно делают затиры, но попыток ухаживания за самками еще не делают. Брачный период у серого варана очень короток — около 10 дней. Самый ранний случай брачного поведения отмечен 3 июня, самый поздний — 18 июня. Послерепродуктивный период — время наиболее активной охоты самцов и яловых самок, а для самок, участвовавших в размножении, этот период правильней было бы назвать гнездовым. Самка откладывает яйца в конце июня — начале июля, в специально выкопанную ею, достаточно сложно устроенную нору, которую она активно защищает от сородичей. В первый месяц после откладки яиц самка посещает гнездовую нору несколько раз в день, проводит в ней значительное время, ночует всегда вблизи в одной и той же норе. Затем посещения становятся реже, но продолжают вплоть до ухода на зимовку. Молодняк вылупляется из яиц осенью (в районе исследований — в первой половине октября) и, не выходя на поверхность, остается зимовать в гнездовой норе. После зимовки самка к гнездовой норе не возвращается, а молодые варанчики выбираются на поверхность самостоятельно.

В до- и послерепродуктивный периоды варанов не очень влечет друг к другу. Они, как правило, ощупывают языком («обнюхивают») свежие следы сородичей, при случайных встречах могут вступать в ознакомительный контакт, но обычно не стремятся к общению. С наступлением установочного периода картина резко меняется. Взрослые самцы и самки живо интересуются следами других варанов, часто «обнюхивают» следовую дорожку на протяжении нескольких метров. При встречах самцы (или хотя бы один из них) стремятся сблизиться и «обнюхать» сородича, много и часто делают затиры. Сценарии встреч двух взрослых самцов очень разнообразны, но существует ряд

<sup>5</sup> Auffenberg W. // Rec. Zool. Survey of India. 1983. V. 80. Pt. 3—4. P. 375—385.



Взрослый самец делает затиры на следах своего соседа.



Встреча малоознакомых самцов. Хозяин участка, Наконечник (около 6 лет, 460 мм), повернулся боком к сородичу, слегка сплюснул тело и наклонился в его сторону — «показывает спину» (тревога с элементом угрозы). Опущенная голова, раздутое горло и прижатый к песку хвост чужака, крупного взрослого самца (возраст около 12 лет, длина тела 540 мм), самодетельствуют о беспокойстве и неуверенности в себе.

особенностей, которые наблюдались только при встрече хорошо знакомых животных (хотя и не всегда). Это, во-первых, почти полное отсутствие тревоги с обеих сторон, во-вторых, предложение ритуального боя (скрещивание шей) и сам бой. В настоящую драку вступают только незнакомые самцы. В ритуальном бою ни хвост, ни зубы в качестве оружия серые вараны не используют. Во всех случаях, как бы ни разворачивалась встреча, она может быть прервана по инициативе одного из участников в любой момент. Чаще всего один из самцов отбе-

гает на 3—4 м в сторону и затем спокойно удаляется. Победитель преследует его не далее, чем на несколько шагов, и, убедившись, что соперник не склонен продолжать контакт, оставляет его в покое. Исключение из этого правила мы наблюдали только дважды, в обоих случаях, вероятно, были нарушены «правила вежливости». В июне 1991 г. 4-летний самец Мафиози, обходя куст, буквально наступил на 10-летнего 3-килограммового варана Федю, гревшегося на солнце после выхода с ночевки. Последний бросился на Мафиози без предупреждения и гнал его около 200 м, после чего спокойно отправился охотиться на близлежащую колонию большой песчанки. До этой встречи животные многократно сталкивались на протяжении не менее полутора лет и никаких конфликтов между ними не возникало. Не возникали они и при следующих встречах. Аналогичный случай, только с другими участниками, мы наблюдали в мае 1992 г.

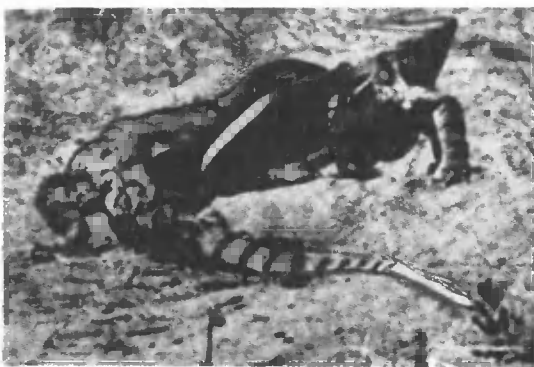
При встрече знакомых самцов победителем, как правило, становится или более крупный варан, или, при равенстве размера и массы, животное, которое изначально держится более уверенно и проявляет меньше признаков беспокойства. При встрече незнакомых варанов победителем чаще бывает животное, проявляющее большее беспокойство и потому более агрессивное. Это не обязательно более крупный самец и не обязательно хозяин участка, — каких-либо общих правил мы выявить не смогли. Для примера расскажем об одной достаточно выразительной встрече, в которой участвовали оседлые самцы, — Наконечник и С-59; оба варана приблизительно одного возраста, однако С-59 несколько крупнее. Участки этих варанов частично перекрывались. Встреча произошла в июне 1993 г. на участке Наконечника, в районе, где за предшествующие 3,5 года его сосед бывал не более двух-трех раз. Наконечник увидел пришельца, когда тот лежал на колонии песчанки, и, слегка «сгорбившись», направился к нему. С-59 заметил хозяина, но продолжал лежать, подняв голову и глядя в его сторону. Наконечник описал круг, пройдя вплотную к С-59, который в этот момент привстал, раздул горло и «показал спину» (проявление тревоги с элементом угрозы). Затем Наконечник описал восьмерку и, вернувшись к С-59, сел в 2 м от него. Некоторое время вараны находились в позе «сидящей собаки», глядя друг на друга. Затем Наконечник снова начал описывать круг, попутно заглядывая в норы песчанок и как будто не замечая пришельца. Когда он оказался не-



а



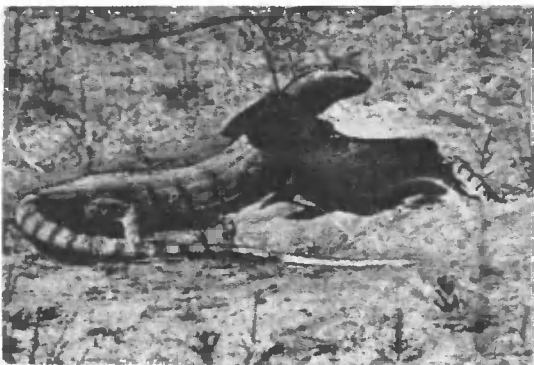
г



б



д



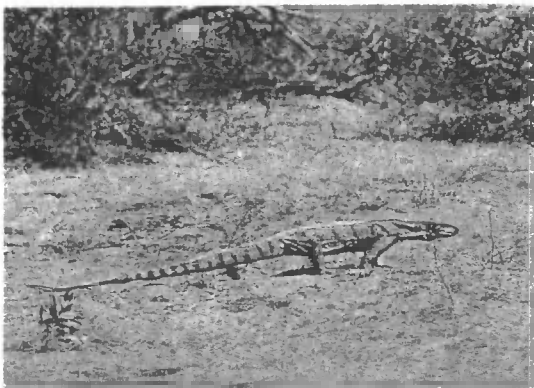
в



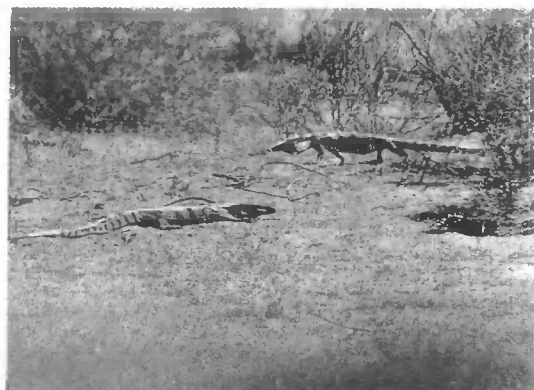
е

Встреча и ритуальный бой хорошо знакомых и равных по возрасту и размеру самцов Эдика и Мафиози (июнь 1993 г.). «Обнюхивание» (а) и «вальсирование» (б), при котором сплыв «обнюхивают» крестцы друг друга, «показывают спины» и кружатся вокруг общей оси, — обычные эпизоды при контактах варанов. Собственно ритуальный бой состоит из трех фаз: «борьба шеями» (в, г) — первый и в большинстве случаев единственный этап боя; «борьба в партере» — вараны располагаются голова к голове, обхватывают друг друга сверху одной передней лапой, подсовывают голову под шею соперника и пытаются перевернуть его на спину (автор успел заснять только момент перехода из «партера» в «стойку» — д); «борьба в стойке» (е) — вараны стараются повалить друг друга, падают (захват при этом размыкается), но тут же вскакивают и схватываются снова. Через

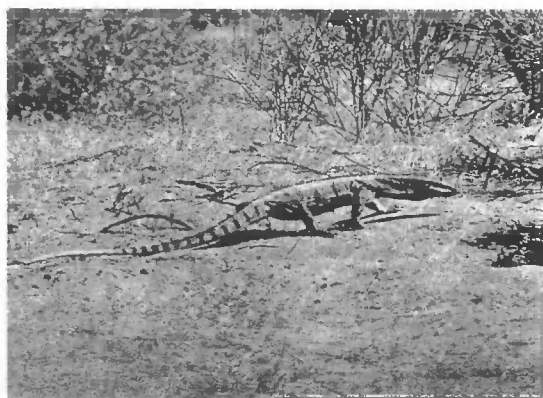
некоторое время Эдик отпустит соперника и отбежит в сторону. Около минуты вараны будут смотреть друг на друга, затем Эдик неторопливо направится прочь, а Мафиози, сделав несколько кругов на месте схватки, уйдет в нору.



а



б



в

Встреча кочевника Рюмка Набок (1982 года рождения, 360 мм) на малознакомой ему территории с хозяином участка С-54 (1986 г., 470 мм). Кочевник уверенно направился к хозяину (а), но как только тот выразил неудовольствие, Рюмка Набок лег, опустив голову (поза умиротворения), а С-54, «сгорбившись» и медленно ступая, обошел лежащего сбоку (б) и, изредка оглядываясь, ушел прочь. Через минуту после исчезновения хозяина Рюмка встал и внимательно обследовал след С-54, прижимая хвост (в). Судя по его поведению, Рюмка, вероятно, принял сначала С-54 за самку.

подалеку от С-59, тот вскочил и «сгорбился». Наконечник сделал то же самое, и вараны одновременно бросились навстречу друг другу. Уткнувшись носом в крестец соперника и «показывая спину», они сделали полный оборот, после чего Наконечник шаркнулся в сторону, отбежал на 9—10 м, перешел на шаг и через 25—30 м ушел в нору песчанки. С-59 сразу успокоился, походил по колонии, заглядывая в норы, и ушел прочь. За несколько дней до этого Наконечник в аналогичной ситуации ударом хвоста обратил в бегство кочевника, значительно более крупного, чем он сам.

Самки к особям своего пола во все периоды относятся довольно равнодушно. Контакты между особями разного пола в установочный период протекают почти так же, как между самцами (исключая ритуальный бой). Самки более пассивны и реже проявляют инициативу к сближению, а перед хорошо знакомыми самцами они иногда принимают позу умиротворения. Самцы также могут принимать такую позу перед раздраженной самкой, чего друг перед другом они обычно не делают.

С наступлением брачного периода поведение самцов меняется только по отношению к самкам. Встретив след самки, самец следует по нему иногда сотни метров, оставляя длинные, (более 10 м) затиры. След самки, вероятно, отличается специфическим запахом, так как на него реагируют и бродяги, впервые попавшие в этот район. Догнав самку, самец подолгу идет за ней, однако следов спаривания мы не видели ни разу. Дело обычно заканчивается тем, что самка уходит в нору на колонии большой песчанки. Самец ходит по колонии, делает затиры, заглядывает в норы и время от времени надолго скрывается в них. Прежде чем войти в нору, он делает несколько копающих движений передней лапой у ее входа (у других видов варанов также отмечались скребущие движения в связи с ухаживанием и спариванием). Попытку спаривания мы наблюдали только однажды: самка вышла из норы и легла у входа, появившийся следом самец медленно заполз на нее и осторожно попытался взять пастью за шею. Самка выскользнула и вернулась в нору, следом за ней ушел и самец. Вообще, насколько мы можем судить, ухаживание редко заканчивается успехом, поскольку чаще взрослые самки остаются яловыми. Есть данные, позволяющие предположить, что у некоторых видов варанов образуются постоянные пары и для успешного спаривания необходимо длительное предшествующее знакомство и формирование определенных

«супружеских» отношений<sup>6</sup>. К размножению приступают самки не моложе пяти лет, хотя объектом ухода самцов они становятся с двух-трехлетнего возраста.

Самки, охраняющие гнездовую нору, бывают весьма агрессивны по отношению к посетителям, хотя большинство последних не проявляет к норе особого интереса. Безусловную агрессию самки вызывает попытка проникнуть в нору. В этом случае она бросается на визитера без предупреждения, а он обращается в бегство. Если же в момент появления другого животного самка находится в гнездовой норе, она выходит ему навстречу в позе угрозы, и пришелец ретируется. Каких-либо признаков ответной агрессии со стороны посетителей наблюдать не приходилось. Однако не все вараны вызывают агрессию самки, примерно в половине случаев встречи вблизи гнездовой норы оканчиваются мирно (во всех этих случаях посетителями были хорошо знакомые самке особи). Например, Мафиози не только неоднократно подходил к гнездовой норе Доцента (только однажды самка проявила тревогу, и ему пришлось принять позу умиротворения), но и ночевал в одной норе с ней рядом с гнездом, хотя сексуальных контактов между этими варанами не было. Как среди «мирных» посетителей, так и среди варанов, вызвавших агрессию, были и самцы и самки.

Поведение варанов в процессе общения далеко не стереотипно. Складывается впечатление, что их действия в ходе контакта и его результат определяются личны-

ми качествами, эмоциональным состоянием животного и предыдущим опытом общения (необязательно с данной особью).

Мы ни разу не видели, чтобы при встречах вараны стремились нанести увечье сопернику. Даже если возникала драка, она всегда ограничивалась единственным ударом хвоста, неизбежно обращавшим соперника в бегство. Не сталкивались мы и с агрессией в буквальном значении этого слова — неспровоцированным активным нападением на сородича (исключение составляют самки, охраняющие гнездовую нору). В целом вараны производят впечатление существ достаточно «нелюдящих», но миролюбивых и терпимых к собратьям. Однако это характерно, вероятно, для определенного социального уклада, который не является неизменным. Нам неизвестно, что происходило в сообществе варанов в 1989 г., но весной 1990 г. у большинства самцов и части самок на плечах и в области крестца были раны или очень свежие шрамы, по форме и размеру соответствующие тем, которые остаются от «мертвой хватки» варана. В 1991 г. такие шрамы у варанов мы встречали редко, а в 1992 и 1993 гг. они вовсе исчезли.

Для каких-либо серьезных обобщений нашего материала явно недостаточно. Все рассказанное здесь ставит больше вопросов, чем проливает свет на поведение и организацию общественной жизни варанов. Очевидно только то, что без специального изучения этой стороны их жизни понять экологию вида и разработать эффективные меры его сохранения сложно. Чисто экологический подход позволяет оценить роль вида в сообществе и связать характеристики популяции с условиями среды, но не дает ответа на многие вопросы о внутривидовых взаимоотношениях серого варана.

<sup>6</sup> Auffenberg W. The Behavioral Ecology of the Komodo Monitor. Gainesville, 1981; Green B., King D. Goanna (Biology of varanid lizards). New South Wales, 1993.

# Астрология и общество

В. Г. Сурдин



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

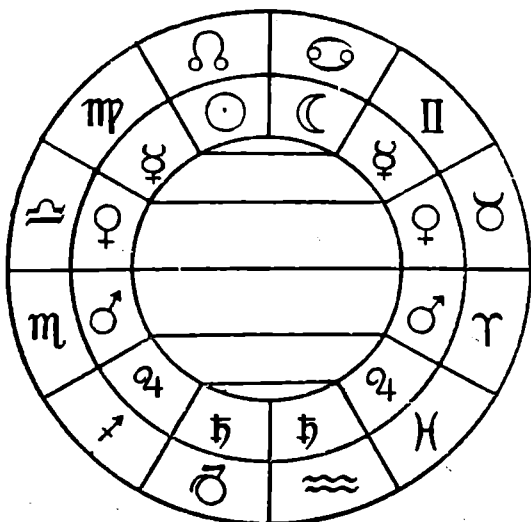
**Г** ОВОРЯТ, когда уже все потеряно, остается надежда... Многим сейчас в нашей стране непросто найти опору в жизни, им так недостает внимания или хотя бы доброго слова. Одни ищут это слово в великой Книге, другие же вдруг прониклись верой в астрологию, как утверждается, науку древнюю, загнанную коммунистами в подполье, как некогда было с генетикой и кибернетикой.

Не знаю, как чувствуют себя биологи и математики при таком сопоставлении астрологии со своими любимыми предметами, но мне, астроному, скорбно слышать в конце XX в. об этой «науке наук». У многих моих коллег, подписавших обращение к журналистам по поводу астрологии, руки чешутся разгромить ее и объяснить всем честным гражданам, какой это чудовищный обман и какая убогая подделка под настоящую науку. Правда, иные коллеги считают, что астрологию лучше вообще не упоминать, дабы не создавать ей рекламы. Я же считаю, что запретить астрологию невозможно: за прошедшие два тысячелетия это не раз пытались сделать, а она жива. Так же как живы пьянство, разврат, кровавые массовые зрелища, несмотря ни на какие кампании по их искоренению.

Да и сами астрологи хорошо понимают, что заняли прочную экологическую нишу «между веропослушным догматизмом религии и причинно-следственным догматизмом науки, и в этом смысле астрология столь же неуничтожима, как первые две формы человеческого познания<sup>1</sup>. Астрология стремительно ворвалась в нашу жизнь вместе со свободой слова и печати. Воспитанный в традициях монархического абсолютизма и коммунистического тоталитаризма, народ наш в большинстве своем разделяет идею фатализма, а проще говоря, пока еще склонен безропотно подчиняться судьбе, указанной ему «верховным руководством» (роль которого в астрологии отве-

© Сурдин В. Г. Астрология и общество.

<sup>1</sup> Величко Ф. К. Астрология конца XX века // Астрология: за и против. М., 1990. С. 32.



На круглой диаграмме слева — жилища, или обители, планет, в которых их влияние усиливается. На круглой диаграмме справа — вершины и низины планет (по Эмпирику). Для планет, помещенных в среднем круге, соответствующие созвездия являются вершинами: в них планеты «здравствуют». Внутренний круг указывает низины планет, где они «имеют незначительную силу». Внизу — астрологические знаки планет.

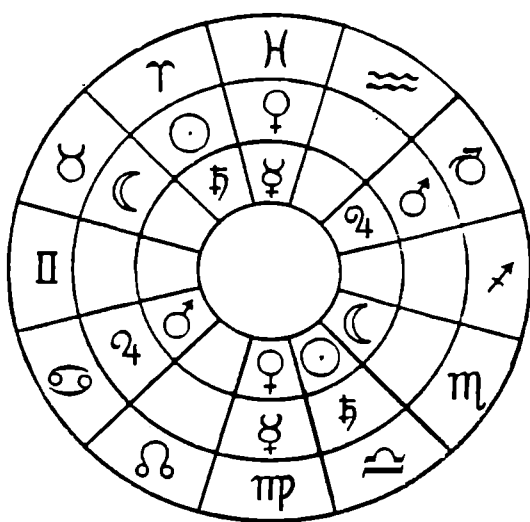


дена звездам и планетам). Нас долго учили, что сила в вере. Возможно, для многих это так. Я лишь хочу обратиться к тем, кто считает, что знание — это сила, и хочет самостоятельно разобраться в сущности астрологии.

### ИСКУССТВО ЗВЕЗДОЧТЕНИЯ

Об астрологах и гороскопах слышали все, но попробуем представить себе любопытного школьника (или академика), решившего узнать об этих понятиях поподробнее и поточнее, ну и, разумеется, не из бульварной литературы, которой сейчас в избытке, а из серьезных источников. Доступны ли они?

В учебниках — ничего путного. Взяв в школьной библиотеке «Энциклопедический словарь юного астронома» (1986), вы обнару-



жите в нем крохотную статью «Астрология» в 17 строк, а о гороскопе авторы словаря вообще забыли. Обратимся к Большой Советской Энциклопедии: статьи «Астрология» и «Гороскоп» в них есть. Их суммарный объем составляет 69 строк в 3-м издании Энциклопедии (1970), 104 строки — во втором (1952) и 150 строк — в первом (1926). Из статьи 1926 г. уже можно почерпнуть немало интересного: видно, что писалась она со знанием предмета. Но продолжим экскурс по энциклопедиям и заглянем в прошлое за известный рубеж: «Энциклопедический словарь» Брокгауза и Ефрона (1890) — интереснейшие статьи об астрологии и гороскопе общим объемом в 700 строк! Однако где же современный человек найдет этот замечательный словарь? Таким образом, с годами мы имели все меньше возможностей узнать об астрологии. А неудовлетворенный интерес рождает, как известно, ажиотажный спрос. В этом причина повышенного внимания к астрологии в наши дни даже среди здравомыслящих людей.

Итак, что же такое астрология и какими понятиями она оперирует? Коротко, идея такова. Солнце, Луна и планеты (раньше их все называли планетами) обращаются на небе вдоль пояса, называемого Зодиаком. Он разделен на 12 приблизительно равных частей, называемых зодиакальными знаками. Их названия соответствуют зодиакальным созвездиям (Овен, Телец, Скорпион и т. д.), но расположение знаков смещено относительно созвездий примерно на 30°, т. е. приблизительно на одно созвездие. Связано это с тем, что общепринятые правила астрологии в основном сложились два тысячелетия назад и были зафиксированы в трудах

древнегреческих ученых. С тех пор в результате перемещения земной оси относительно плоскости земной орбиты (явление прецессии) система небесных координат переместилась, но знаки остались без изменения. Да и границы созвездий за прошедшие века заметно поменяли свое положение. Поэтому в наше время, если Солнце находится, например, в созвездии Тельца, то астрологи считают, что оно в знаке Близнецов, и т. д. Более того, в нашу эпоху Солнце в своем годичном движении пересекает границы 13 (!) созвездий, а у астрологов по-прежнему 12 знаков Зодиака (табл. 1).

Кроме разделения Зодиака на знаки астрологи делят также небесную сферу на 12 секторов, охватывающих все небо и зафиксированных относительно горизонта; их называют домами. На вертикальном круге, проходящем через точки востока, запада и зенита, дома представляются секторами по 30°. Разбиение на дома производится от точки востока через надир (точку, противоположную зениту) к западу. А гороскопом называют схему, на которой показано, в каком взаимном расположении находятся знаки Зодиака, планеты и дома, если наблюдать их в какое-то конкретное время из определенной точки на Земле. Например, **натальный гороскоп** — это схема, составленная для места и времени рождения человека. Астрологи считают, что характер человека и его судьба определяются или, во всяком случае, испытывают влияние в зависимости от конфигурации знаков и планет, указанной в натальном гороскопе.

В древние времена вычисление гороскопа требовало серьезной астрономической подготовки и большого объема вычислений. Но затем все упростилось. Уже несколько столетий в астрономических календарях публикуется положение планет, Луны и Солнца. Пользуясь этими данными, легко составить гороскоп для конкретной даты и места рождения — нужно лишь овладеть азами практической астрономии. Но если вы совсем не знакомы с методами астрономических вычислений, то теперь и это не проблема: достаточно ввести одну из готовых программ в персональный компьютер, и он сам спросит вас о дне и месте рождения, рассчитает гороскоп, «составит» по нему ваш психологический портрет и определит линию судьбы. Астрологический бизнес процветает в наши дни именно благодаря компьютеру.

Существуют несколько астрологических школ, различающихся в деталях интерпретации натального гороскопа, но основные

Таблица 1

Даты вступления Солнца в границы созвездий и соответствующие им знаки Зодиака в 1994 г.

| Название созвездий | Дата вступления Солнца |                |
|--------------------|------------------------|----------------|
|                    | в созвездие            | в знак Зодиака |
| Козерог            | 19 января              | 22 декабря     |
| Водолей            | 15 февраля             | 20 января      |
| Рыбы               | 11 марта               | 18 февраля     |
| Овен               | 18 апреля              | 20 марта       |
| Телец              | 13 мая                 | 20 апреля      |
| Близнецы           | 21 июня                | 21 мая         |
| Рак                | 20 июля                | 21 июня        |
| Лев                | 10 августа             | 23 июля        |
| Дева               | 16 сентября            | 23 августа     |
| Весы               | 30 октября             | 23 сентября    |
| Скорпион           | 22 ноября              | 23 октября     |
| Змееносец          | 29 ноября              | —              |
| Стрелец            | 17 декабря             | 22 ноября      |

правила не менялись уже более двух тысячелетий и изложены, например, Секстом Эмпириком в его сочинении «Против астрологов»<sup>2</sup>. Еще раз напомним, что правила интерпретации гороскопа остаются без изменения и жестко привязаны к положению Солнца, Луны и планет относительно знаков Зодиака. Однако вся система этих знаков связана с положением точки весеннего равноденствия, которая, в силу прецессии оси вращения Земли, перемещается среди звезд. Поэтому и положение знаков Зодиака тоже постоянно смещается относительно истинного направления на звезды и остается связанным только с сезонами года. Это, как минимум, указывает на то, что астрология вообще не имеет отношения к звездам, а, в лучшем (для нее) случае, лишь к телам Солнечной системы. Но и это еще нужно доказать.

Неоднократно предпринимались попытки создать физическую теорию влияния планет на человека. Если не рассматривать совсем уж патологические случаи, то обычно обсуждалось приливное гравитационное влияние планет либо непосредственно на человека, либо опосредованно по цепочке «планета — солнечная активность — геомагнитные возмущения — человек». Аргументация «биологической теории приливов» приблизительно такова: «Луна вызывает приливы на море, а человек тоже почти целиком состоит из воды, значит, и он должен испытывать родственное влияние».

Разумеется, вода здесь ни при чем:

<sup>2</sup> Секст Эмпирик. Соч. в 2-х т. М., 1976. Т. 2.

Таблица 2

**Парады планет\*, во время которых все они (кроме Плутона) собираются в гелиоцентрическом секторе с раствором менее 90°**

| Год  | Дата        | Минимальный угол сектора, град | Плутон |
|------|-------------|--------------------------------|--------|
| 117  | 29 ноября   | 74                             | —      |
| 310  | 8 марта     | 87                             | —      |
| 408  | 23 октября  | 90                             | ?      |
| 410  | 22 сентября | 87                             | ?      |
| 449  | 22 января   | 57                             | +      |
| 626  | 11 февраля  | 84                             | —      |
| 628  | 23 января   | 65                             | —      |
| 768  | 17 ноября   | 86                             | —      |
| 949  | 1 февраля   | 80                             | ++     |
| 987  | 28 июня     | 66                             | —      |
| 989  | 8 июня      | 76                             | —      |
| 1126 | 9 мая       | 83                             | —      |
| 1128 | 11 апреля   | 40                             | —      |
| 1130 | 18 марта    | 84                             | —      |
| 1166 | 31 августа  | 72                             | —      |
| 1307 | 14 апреля   | 46                             | —      |
| 1666 | 19 сентября | 85                             | —      |
| 1817 | 9 июня      | 83                             | —      |
| 2161 | 19 мая      | 69                             | —      |
| 2176 | 7 ноября    | 78                             | —      |
| 2492 | 6 мая       | 90                             | ++     |
| 2520 | 22 октября  | 90                             | ++     |
| 2851 | 30 сентября | 82                             | —      |
| 2892 | 6 января    | 82                             | —      |
| 2992 | 21 июля     | 73                             | ++     |

\* Представлены расчеты на период от начала новой эры до 3000 г. ++ — надежное попадание Плутона в сектор; + — менее надежное; ? — попадание сомнительно.

земная поверхность под действием приливов деформируется точно так же, как морская — дважды в сутки поднимается и опускается на полметра. Вот только, в отличие от моря, перетекать поверхность континентов не может. Поэтому морская приливная волна набегает на берег и в некоторых узких заливах поднимается довольно высоко — порой метров на 10—15. Но что значат эти метры по сравнению с размером Земли?! Если вернуться к человеку, то, с точки зрения физики, «биологическая теория приливов» выглядит просто смешно: простой расчет показывает, что приливное влияние Луны на тело человека в миллион раз (!) слабее, чем аналогичное влияние стоящего в метре от него другого человека. Влияние Солнца вдвое слабее лунного, а о планетах и говорить не стоит.

Вопрос с солнечной активностью, вообще говоря, окончательно не решен. Астронумы истратили много сил в поиске связи

между положением планет и солнечной активностью. Хотя и в этом случае физические оценки показывают чрезвычайную слабость приливного влияния планет на Солнце, но, чем черт не шутит, а вдруг существует какой-то неизвестный нам механизм усиления этого влияния. Однако никаких надежных корреляций между активностью Солнца и положением планет так и не обнаружено. Даже во время «парада планет» 1982 г., когда приливное влияние всех планет на Солнце сложилось и стало максимальным, никаких заметных изменений в активности светила не произошло (табл. 2). Так что физика пока не дает шанса астрологии.

Но не лучше ли оставить в стороне вопросы рационального обоснования астрологии и обратиться непосредственно к проверке ее предсказаний. В конце концов, если астрологи как-то научились это делать, то можно использовать их искусство, не требуя разъяснений. Итак, что же говорят о точности своих предсказаний астрологи и что выяснили по этому поводу ученые?

### О МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАБЛУЖДЕНИЯХ И СПЕКУЛЯЦИЯХ

Часто приходится слышать от астрологов, что их предсказания не абсолютно надежны, но подтверждаются с большой вероятностью. Обычно говорят, что оправдывается 70—80 % прогнозов. Правда, при этом никогда не описывается процедура подсчета вероятности правильного прогноза. А ведь именно в ней, в процедуре подсчета, и заложен корень проблемы. Однако это понимают лишь специалисты, а обычного читателя, слушателя или зрителя, как правило, такая тонкость не интересует: сказано, что 80 %, значит, как-то подсчитали. Если же поинтересоваться «тонкостями», то окажется, что это либо интуитивная оценка, либо элементарный подлог.

Наше нежелание или неумение вникнуть в математическую сторону предсказаний, наша готовность поддаться гипнотической силе числа (да еще с бухгалтерским значком %) выдает нашу математическую неграмотность. Именно так — «Математическая неграмотность и ее последствия» — назвал свою книгу Дж. А. Поулос, собравший множество примеров неспособности вполне образованных людей оперировать простейшими математическими понятиями. В особенности это касается понятия «вероятность»<sup>3</sup>. Попытка интуитивно оценить

<sup>3</sup> Paulos J. Innumeracy: Mathematical illiteracy its consequences., 1988.

вероятность какого-нибудь события очень сильно зависит от психологического настроения человека (можно назвать это «пси-фильтром») и, как правило, дает неверный результат. Вот простой пример, приведенный другим популяризатором математики — А. К. Дьюдни: «С фильтрами мы сталкиваемся всегда и всюду. Казино, в которых установлены десятки игровых автоматов, оглашаются звуками, свидетельствующими о том, что люди выигрывают. Каждый раз, когда на экране три маленькие вишенки выстраиваются в ряд, машина высыпает на поднос горсть двадцатипятицентовых монет. С другой стороны, проигрыш сопровождается тишиной. Человек, вошедший в казино, может подумать, что все вокруг только и делают, что выигрывают. Ведь даже несколько выигранных монет, которые автомат выдает в среднем в одной из десяти попыток, могут производить более или менее постоянный звон в помещении, где установлено всего десять автоматов. Явление фильтрации, помимо иллюзии «беспроигрышного казино», лежит в основе многих заблуждений»<sup>4</sup>.

Специалисты знают, как непросто бывает оценить вероятность какого-либо события, даже имея в руках данные четко проведенных экспериментов. Нужно признать, что история науки помнит немало случаев ложной оценки вероятности, когда результат случайного стечения обстоятельств трактовался как новая непознанная закономерность. Астрономы еще не забыли «звездные кольца» и «звездные цепочки», геометрические фигуры, образованные лунными кратерами, и марсианского «сфинкса». Однако наука никогда не упорствует в своих заблуждениях, а старается как можно скорее освободиться от них. Астрологи же, напротив, поддерживают мифы, окружающие их деятельность. А имея дело с большими массами прогнозов, создать миф не так уж сложно. Вот еще один пример из статьи А. К. Дьюдни: «На математическом заблуждении может быть основана одна интересная возможность надувательства, связанного с игрой на бирже. Биржевой агент рассылает письма 1024 клиентам. В половине из этих писем агент предсказывает, что акции фирмы «United Suspenders» возрастут в цене на протяжении предстоящих нескольких дней. В другой половине писем он предсказывает, что их цена упадет. Теперь агент ждет, каким образом изменится цена акций. Если она поднимается, он рассылает письма 512 клиентам первой группы, напоминая, что его

предсказание оказалось верным, и делает новое предсказание. В 256 новых письмах он предсказывает, что цена акций будет продолжать расти, а в оставшихся 256 письмах сообщает, что она будет падать. Теперь вам, наверное, ясно, в чем состоит уловка. Все уменьшающаяся группа клиентов получает все более весомые доказательства того, что агент обладает безошибочным чутьем. В результате небольшая группа людей доверяет свои капиталы биржевому агенту, хотя разумнее было бы оставить свои деньги в сберегательном банке»<sup>5</sup>.

Это хороший пример того, как, умело манипулируя совершенно случайными событиями, удается использовать их в своих интересах. Кстати, можно сформулировать одно из правил для начинающего астролога: «Делай как можно больше предсказаний. Неверные быстро забудутся, а те, которые случайно совпадут с реальными событиями, дадут возможность неоднократно напоминать о них и прослыть хорошим предсказателем».

#### ПРОВЕРКА АСТРОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДСКАЗАНИЙ

Решая для себя вопрос о том, имеется ли хоть какое-то рациональное зерно в астрологии, ученые прежде всего полагаются на грамотно проведенный анализ статистической достоверности астрологических предсказаний. К сожалению, мне неизвестны отечественные работы на эту тему, поэтому опишу результаты некоторых зарубежных исследований.

Психолог из Мичиганского университета Б. Силверман изучил влияние зодиакального знака, соответствующего рождению каждого из супругов, на вероятность их бракосочетания или развода. Были использованы данные о 2978 свадьбах и 478 разводах, зарегистрированных в Мичигане в 1967—1968 гг. Ученый сравнивал реальные данные с предсказаниями двух независимых астрологов относительно благоприятного и неблагоприятного сочетания зодиакальных знаков для супружеских пар. Оказалось, что никакого согласия между предсказаниями и реальностью нет, поэтому Силверман заключил: «Положение Солнца на Зодиаке в момент рождения не оказывает влияния на формирование личности».

Любопытно, что ранее подобное исследование предпринял всемирно известный психолог К. Юнг. Он сопоставил лунно-солнечные конфигурации в натальных горо-

<sup>4</sup> Дьюдни А. К. // В мире науки. 1990. № 5. С. 84.

<sup>5</sup> Там же.

скопах 483 супружеских пар и не обнаружил статистически значимых корреляций. Но, по-видимому, Юнгу очень хотелось верить в астрологию. Он отбросил результаты своего исследования, заявив: «Статистический взгляд на мир является абсолютно отвлеченным и поэтому неполным и даже ошибочным, когда речь идет о психологии людей». Вот так психология сыграла злую шутку с самим ученым.

Дж. Беннет и Дж. Барт — экономисты из Университета Дж. Вашингтона — попытались выяснить, влияет ли положение планет относительно зодиакальных знаков на профессиональные склонности людей, в частности, знаков, «управляемых» Марсом, на частоту поступления молодых людей на военную службу. Они также не получили подтверждения астрологических предсказаний. Предрасположенность людей к профессии изучалась многими учеными. Американский физик Дж. Мак-Джерви исследовал распределение дат рождения 17 тыс. ученых и 6 тыс. политических деятелей относительно зодиакальных знаков. Оно оказалось совершенно случайным. Однако наиболее интересные результаты в этой области получены парижским статистиком М. Гокеленом. Он изучил архивные данные, содержащие дату, время и место рождения 41 тыс. жителей Европы; среди них были 16 тыс. известных ученых, артистов, писателей, спортсменов и т. д., а также 25 тыс. «простых» людей. Гокелен сопоставил положение планет и созвездий в момент рождения человека с типом его личности и родом занятий. Он показал, что гороскопы совершенно лживы: нет никакой связи между характером и деятельностью человека, с одной стороны, и его знаком Зодиака, положением планет в домах и их взаимными аспектами в момент рождения — с другой.

Проверялось и качество комплексного предсказания астрологами характера людей. С этой целью психолог из Чикаго Дж. Мак-Гру обратился в Федерацию астрологов штата Индиана. Участвовать в его экспериментах вызвались шесть опытных специалистов звездочтения. По просьбе Мак-Гру, 23 добровольца ответили письменно на анкету, содержащую как астрологические, так и традиционные вопросы о качествах их характера, работе и т. д. Затем время и место рождения добровольцев было сообщено астрологам и шестерым членам контрольной группы, не знакомым с астрологией. После этого указанные в анкете характеристики добровольцев были сопоставлены с предсказаниями группы астрологов и контрольной группы. Результат получился следующий: пред-

сказания астрологов оказались ничуть не точнее, чем предсказания членов контрольной группы, причем и те и другие совершенно не соответствовали истинным качествам тестированных добровольцев. Самое же любопытное, что характеристики одних и тех же добровольцев, данные разными астрологами, сильнее всего расходились между собой.

Итак, с точки зрения естествознания, астрология — пустоцвет, мыльный пузырь, лишенный рационального содержания. Там, где это возможно, наука создает методы прогноза и не окутывает их при этом мистикой. А там, где невозможно, прямо об этом заявляет, не суля пустых надежд, как это делают астрологи. Науке с астрологией не по пути. И если бы астрологи бессовестно не присваивали себе высокую репутацию, заработанную наукой, в частности астрономией, то и не было бы статей, подобных этой, и не обращали бы мы на них особого внимания, не выделяли бы из ряда других проявлений массовой культуры. Но когда диктор телевидения заявляет, что «сегодня по астрологическому календарю будет самый короткий день и самая длинная ночь», а бородатый астролог «назначает» на завтра солнечное затмение, то невольно хочется закричать: «Люди, при чем же здесь астрология? Это результаты нормальных научных расчетов, сделанных астрономами (покажите мне астролога, который самостоятельно может рассчитать хотя бы продолжительность дня, не говоря уже об обстоятельствах солнечного затмения!). Люди, неужели вы думаете, что если астролог смог прочесть в Астрономическом календаре о завтрашнем затмении, то он так же легко сможет прочесть книгу вашей судьбы? Ведь эту книгу, в отличие от Астрономического календаря, не купишь в магазине».

## РЕЦЕПТЫ?

В западных странах с астрологическим недугом знакомы давно и как следует его изучили. Путем опросов общественного мнения психологи выясняют, какие социальные группы и в какой степени интересуются астрологией. Поскольку эти опросы проводятся регулярно, становится понятна и динамика явления, и можно выяснить влияние на нее различных публикаций и «кампаний». Вспомним хотя бы всплеск интереса к астрологии в США, разразившийся после начала нефтяного кризиса 1973 г. Именно он заставил в 1975 г. большую группу известных американских ученых обратиться к журналистам с предостережением, в котором, в

частности, говорилось: «Мы особенно обеспокоены продолжающимся некритическим распространением астрологических карт, предсказаний и гороскопов средствами массовой информации, а также газетами, журналами и издательствами с сомнительной репутацией. Это только способствует росту иррационализма и невежества. Мы считаем, что настало время бросить прямой и недвусмысленный вызов претенциозным утверждениям шарлатанов-астрологов».

Этот призыв был воспринят с энтузиазмом многими учеными и просто культурными людьми. Он стимулировал интерес специалистов к популяризации науки, к более тесному их взаимодействию с журналистами. Появились новые издания, ориентированные на интеллектуального читателя, новые телепередачи и сериалы для критически мыслящего зрителя (вспомним знаменитый сериал «Космос» К. Сагана). Конкретное средство для лечения астрологической или любой другой паранаучной «болезни» зависит от уровня интеллекта и склонностей «больного». Для человека рационального, в принципе доверяющего науке, достаточно фактов, статистически опровергающих предсказания астрологов. Для большей же части неинформированной публики требуется правдивый рассказ об истории астрологии, ее истинном лице, ее методах и месте в истории культуры. Как показали исследования американских педагогов, большинство людей элементарно не информировано о взаимоотношении астрологии и науки. Эти люди не в состоянии отделить достижения астрономии от пустых претензий астрологов. В их сознании абсолютно надежный прогноз полета космических аппаратов лишь подтверждает возможность гадания по звездам. Поэтому введение в школьный курс всего одного урока — нет, даже не критики, а просто взвешенного описания сути астрологии, ее методов и приемов — разительно меняет отношение к ней. В большинстве своем люди просто не знают, с чем имеют дело.

Ну а что можно предложить тем, кто вообще лишен критического взгляда на мир, чьи способности к анализу подавлены эмоциями? Именно в такой среде респектабельные астрологи с их задушевными монологами находят самый теплый прием. Переубеждать таких людей — дело неблагоприятное. Но использовать их убежденность, их веру для расширения их же собственного кругозора — задача вполне реальная. Так же как для многих религия есть единственный доступный им путь к вершинам духовности, в мир искусства, так и астрология для некоторых людей может стать началом пути к тайным Вселенной. Концепцию «наблюдательной астрологии» предложил несколько лет назад известный американский астроном-любитель Б. Майер, и я солидарен с ним: лучше прийти к истине окольным путем, чем не прийти вовсе. Майер считает, что многие из людей, увлеченных астрологическими гаданиями, захотят научиться находить на небе «свое» созвездие, затем захотят узнать об интересных объектах в этом и соседних созвездиях и так, шаг за шагом, возможно придут к настоящей любительской астрономии, безусловно полезной как элемент общественной культуры, а нередко полезной и для науки.

Майер предлагает развешивать астрологию в занимательной форме. Например, он учредил приз в 10 тыс. долл. тому, кто во время полного солнечного затмения 11 июля 1991 г. сфотографирует солнечную корону на фоне звезд созвездия Рака. По астрологическим канонам, Солнце в этот момент должно было находиться в середине зодиакального знака Рака, хотя в действительности оно было в середине созвездия Близнецов. Разумеется, приз остался неврученным. Майер считает, что такой шуточный конкурс помог публике лучше, чем длинная лекция, понять, как безнадежно отстала от жизни астрология.

Подписной талон

**ЭНЦИКЛОПЕДИЯ  
ТЕХНИКИ**

ФИО \_\_\_\_\_

Индекс и адрес \_\_\_\_\_

Сумма и дата отправки залога \_\_\_\_\_

**1. Стрелковое оружие**

- Пистолеты и револьверы ✓
- Винтовки и автоматы ✓✓
- Спецоружие

**2. Авиация**

- Самолеты МиГ
- История вертолета
- Японские истребители второй мировой
- Самолет По-2

**3. Бронетехника**

- История танка
- Броневые автомобили Русской армии
- Бронепоезда Русской армии

**4. Артиллерия**

- История артиллерии
- Советская и германская железнодорожная артиллерия второй мировой

**5. Флот**

- Броненосцы типа «Полтава» ✓✓
- Линкор «Джулио Чезаре»
- Парусники мира (т.1)
- Авианосцы
- Броненосцы Российского флота
- Боевые катера

**6. Автомоботехника**

- История легкового автомобиля
- Советские «джипы» Великой Отечественной
- Транспорт наших городов

**7. История войн**

- Армия Петра Великого ✓✓
- История пиратства
- Армейская униформа второй мировой
- Оружейная коллекция Петра I

✓ Подписка на второе издание выпуска  
«Пистолеты и револьверы» оформляется в  
индивидуальном порядке.

✓ Рассылаются подписчикам

Обведите кружком номера серий,  
которые вы хотите выписать.

Начался выпуск многосерийного подписного издания

**ЭНЦИКЛОПЕДИЯ  
ТЕХНИКИ**

Для оформления подписки переведите почтовым переводом на счет Издательского дома «Техника—молодежи» в банке «Бизнес» (реквизиты банка опубликованы ниже) залоговую сумму—стоимость последней серии «ЭТ»—9000 руб. (для жителей из «ближнего зарубежья»—11 000 руб.); если же интересуют лишь избранные темы, то—3000 руб. (для «ближнего зарубежья»—4000 руб.) за каждую серию. При этом не забудьте заполнить подписной талон и прислать его в редакцию по адресу: 125015, Москва, Новодмитровская ул., 5а, «Техника—молодежи», вместе с квитанцией об оплате (учитывая нынешнее качество почтовых услуг, желательно оставить себе копию).

Ваши ФИО и адреса будут занесены в редакционный компьютер, после чего вы станете получать по почте интересующие вас выпуски приложений по мере их выхода в свет. А вам останется лишь переводить в адрес редакции стоимость каждой книги (после получения), указанную на последней ее странице в специальном подписном талоне. (Эта сумма будет на 25—30% ниже отпускной цены издания.) Присланный перевод засвидетельствует, что вы продолжаете оставаться нашим подписчиком. В противном случае вы получите еще несколько выпусков «Энциклопедии техники» в счет залога, и на том подписка прекратится.

Указанные суммы должны быть высланы не позднее 31 июля 1994 года, ибо потом из-за инфляции они скорее всего будут скорректированы.

**Реквизиты АКБ «Бизнес»:** р/с 13345520, МФО 44583478, уч. 74 (только для жителей Москвы) или р/с 13345520, МФО 201638, уч. 83 (для иногородних платежей), корр. счет 478161600 в РКЦ ГУ ЦБ РФ. Издательский дом «Техника—молодежи».

**Тел. (095) 285-88-95, 285-16-87, 285-73-94.**

Подписной индекс "ТМ" по каталогу АиФ 70973.

Цена 2600 руб. за один экземпляр.

# Гены древних «заговорили»

Ю. А. Столповский, И. Г. Удина



Юрий Анатольевич Столповский, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории сравнительной генетики животных Института общей генетики им. Н. И. Вавилова РАН. Научные интересы связаны с изучением, сохранением и консервированием генофонда домашних животных.



Ирина Геннадьевна Удина, кандидат биологических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Занимается популяционной и эволюционной генетикой, иммуногенетикой.

**Х**ОРОШО ИЗВЕСТНО, что прогресс в науке в значительной степени зависит от новых методологических идей, концепций, подходов. При этом отдельные конкретные методы исследования обычно являются «инструментами» в добывании знаний, которые создают почву для качественно новых решений той или иной научной проблемы. По-видимому, эта истина справедлива лишь отчасти. Например, полимеразная цепная реакция (ПЦР) — уникальный метод современной молекулярной биологии — не только способствовал значительному прогрессу в изучении ДНК, но и появлению новой научной дисциплины — молекулярной археологии, или палеогенетики.

Сочетание молекулярной генетики и археологии, на первый взгляд, выглядит необычным. И тем не менее сегодня археологический (палеонтологический) материал из немого свидетеля прошедших событий превратился в уникальный источник генетической информации. Это стало реальностью благодаря ПЦР — удивительно простому методу получения копий (амплификации) уникальных фрагментов ДНК в неограниченном количестве. В 1993 г. американскому химику К. Миллис — создателю ПЦР, присуждена Нобелевская премия по химии<sup>1</sup>. При использовании ПЦР материалом для исследований может служить ничтожно малое (вплоть до одной клетки) количество самого разного биологического материала: волосная луковица, капля крови, кусочек ногтя, кожи, кости и т. п. Вероятно, «следы» ДНК будут различимы в кости, пока она полностью не минерализуется.

По мнению С. Паабо, одного из первых исследователей древней ДНК, в умершем организме она деградирует за несколько часов, распадаясь на фрагменты длиной 100—200 пар нуклеотидов. Они, в свою очередь, сохраняются дольше в тех тканях, которые быстрее высыхают (кожа конечностей, ногти), потому что вода способствует разруше-

© Столповский Ю. А., Удина И. Г. Гены древних «заговорили».

<sup>1</sup> Лауреаты Нобелевской премии. По химии: М. Смит и К. Миллис // Природа. 1994. № 1. С. 104—110.

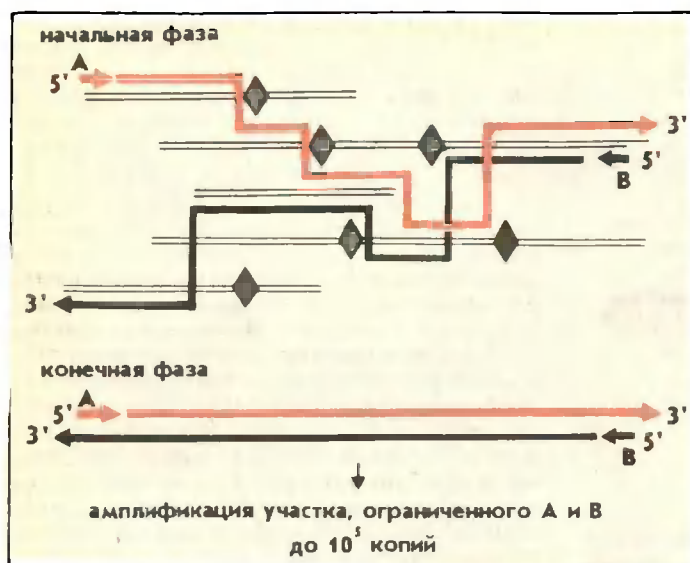


Схема «прыгающей» полимеразной цепной реакции (ПЦР). В начале два праймера — А (цветная прямая) и В (черная прямая) присоединяются к 3'-концам неповрежденных участков древней ДНК и достраиваются до мест повреждения (обозначены ромбиками) с помощью фермента ДНК-полимеразы. Затем эти удлинившиеся праймеры прикрепляются к другим участкам ДНК и также достраиваются. В конечной фазе после многих циклов ПЦР эти праймеры становятся столь протяженными, что их 3'-концы перекрываются и образуется молекула желаемой длины, которая в свою очередь может служить матрицей в последующих циклах ПЦР (по: Paabo S. et al. // J. of Biochemistry. 1989. V. 294. N 17. P. 9711).

нию. Предполагают, что ДНК полностью разрушается примерно за 50 тыс. лет просто под воздействием воды и кислорода. К настоящему времени самые древние образцы ДНК получены из останков насекомых, заключенных в янтаре. Возраст древнейших из них составил 40 млн. лет.

Применение ПЦР — в одной из ее модификаций — возможно и для «размножения» уже сильно фрагментированной ДНК. Олигонуклеотиды-праймеры первоначально прикрепляются к фрагментам древней ДНК, затем достраиваются (синтез идет на двух цепочках матрицы одновременно) до места ближайшего разрыва в цепи, образовавшие новые участки молекулы ДНК служат праймерами в следующем цикле ПЦР. Так постепенно достраивается фрагмент древней ДНК, заключенный между исходными олигонуклеотидами-праймерами. Такой тип ПЦР получил название «прыгающей» ПЦР, так как праймеры в процессе реакции все время удлиняются. Относительная простота, экономичность и высокая эффективность метода делают его незаменимым при изучении древних генов.

Использование ПЦР в ретроспективных исследованиях при изучении ДНК, выделенной из древнего биологического материала, открывает захватывающие перспективы. Получение копий фрагментов древних генов в неограниченном количестве позволяет исследовать их молекулярно-генетическими методами, например, непосредственно устанавливать нуклеотидную последовательность ДНК организмов, живших на Земле в незапа-

мятные времена. Ранее молекулярные биологи могли изучать ДНК только современных видов. Теперь появилась возможность заглянуть в прошлое и сравнить его с настоящим, т. е. одновременно изучить полиморфизм ДНК древних и современных геномов человека, животных и растений.

Молекулярная археология, возникающая благодаря ПЦР, — это наука о молекулярной эволюции, или биологической истории, существующего или когда-либо существовавшего биоразнообразия нашей планеты, наука, в которой на основе точной молекулярной идентификации изучаются эволюционные, систематические взаимоотношения видов, а также пути становления современного генетического разнообразия. Иначе говоря, решаются ключевые проблемы происхождения видов и времени их дивергенции.

Молекулярная археология выступает в роли науки, осуществляющей синтез проблем из различных научных дисциплин (геологии, палеонтологии, археологии, истории), связанных не только с эволюцией жизни на Земле, но и с историей человечества. Изучение древней ДНК, вероятно, поможет прояснить, например, как шло заселение Америки или, скажем, о-ва Пасхи, установить прародину разных племен, потомки которых ныне живут в разных странах, и т. д.

Российские и английские генетики уже использовали методы молекулярной археологии для идентификации останков царской семьи Романовых. Методом ПЦР проведен сравнительный анализ ДНК костных останков, из захоронения под Екатеринбургом. Пять из

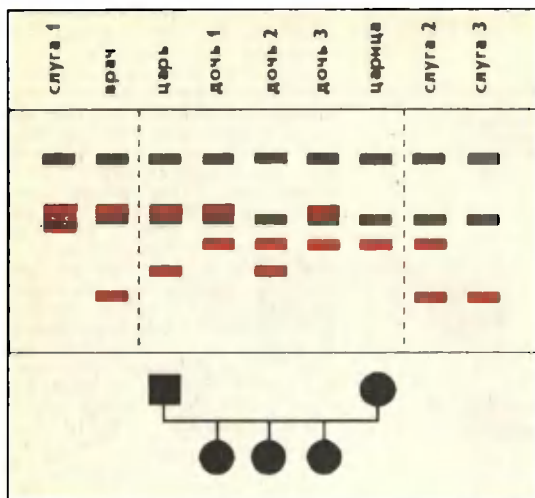


Схема электрофореграммы фрагментов ДНК из костных останков, найденных в захоронении под Екатеринбургом, и родословная для пяти образцов (внизу). Цветные полосы — амплифицированные аллели проанализированного гена, серые — внутренние маркеры для определения величины фрагментов ДНК. Полосы на электрофореграмме свидетельствуют, что из девяти изученных образцов пять принадлежат членам одной семьи; три дочери унаследовали один и тот же аллель гена от матери и разные аллели от отца (по Гиллу П. и др., 1994).

девяти скелетов, обнаруженных в июле 1991 г., были идентифицированы как останки членов царской семьи: царя, царицы и трех детей. Методом ПЦР проведено определение пола по специфическим фрагментам X- и Y-хромосом. Анализ митохондриальной ДНК, наследуемой по материнской линии, выявил точное совпадение изученной последовательности ДНК у матери, ее дочерей<sup>2</sup> и их ныне живущих родственников.

Мы знаем, что тысячелетия назад египтяне мумифицировали фараонов и помещали в гробницы мумии животных — кошек, собак, ибисов и т. д. Могли ли предполагать жители Египта, что эти мумии станут посланием в будущее с бесценной информацией о генофонде древних и что спустя много веков гены, записанные в нуклеотидной последовательности, сохранившейся в их ДНК, будут «прочитаны»? Со времени верхнего палеолита в захоронениях людей находят пыльцу растений, которая сегодня также может быть изучена. Благодаря нашим далеким предкам мы можем расшифровать гены древних обитателей планеты; узнать, когда и каким образом возникла (или распространилась) та или иная болезнь; установить пути, по которым шло видообразование, а

возможно, и воссоздать эволюционную цепочку, приведшую к формированию современных видов. Точная информация об этапах эволюции видов и пород животных в прошлом, в свою очередь, необходима для прогнозирования эволюции современных групп родственных видов и пород.

С появлением молекулярной археологии существенно меняется статус зоологических коллекций — они становятся своеобразными банками генетической информации для обширных научных исследований: изучения филогении, видовой диагностики, популяционных исследований коллекционного материала и сопоставления генетического разнообразия коллекционных выборок с разнообразием ныне существующих популяций. Для решения последней задачи особенно интересны популяции, недавно прошедшие через «бутылочное горлышко» или претерпевшие резкое сокращение численности, например, красная панда, бизон, зубр и т. д.

Неслучайно одни из первых молекулярно-биологических лабораторий по изучению древних ДНК созданы при крупнейших музеях мира, таких как Британский музей естественной истории, Смитсоновский институт в Вашингтоне, Американский музей естественной истории в Нью-Йорке и др.

Археологические памятники, например жертвенники скифов и других народов, где обнаружены многочисленные останки лошадей, коз, лосей, быков, свиней, помимо культурно-исторической ценности приобретают и биологическую значимость как хранилища уникального генетического материала.

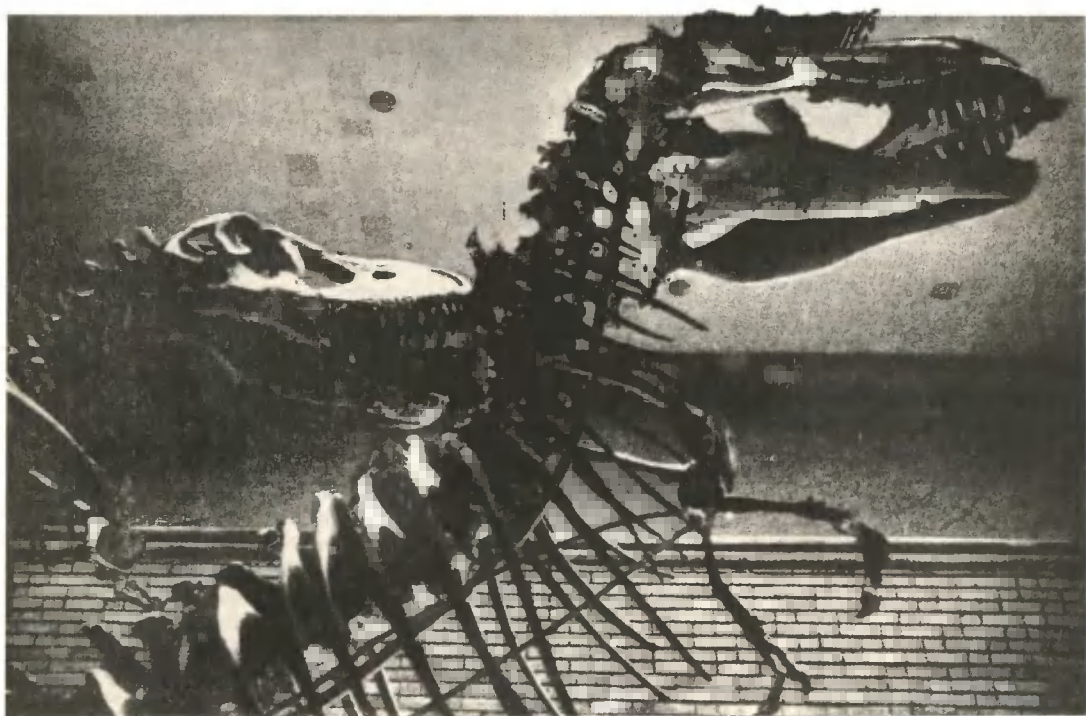
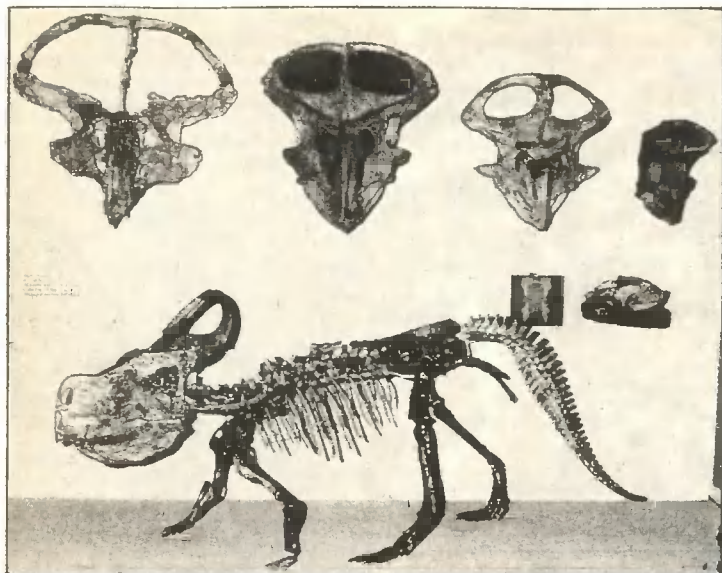
Если бы удалось обнаружить сохранившуюся ДНК в еще более древних останках животных, например, в костях скелетов динозавров, живших в мезозойскую эру! Но пока остается только мечтать об этом.

Каких же успехов достигла молекулярная археология? Впервые ДНК вымершего животного — квагги — извлечена из ее шкуры в 1984 г.<sup>3</sup> (последние квагги, родственные современным зебрам, обитающим в Африке, истреблены более 100 лет назад хищнической охотой). Через год клонирования ДНК из египетской мумии возрастом более 4400 лет. Спустя еще три года с помощью появившейся к тому времени ПЦР получены многочисленные копии участков генов еще более древней митохондриальной ДНК из головного мозга человека, погибшего около 7 тыс. лет назад<sup>4</sup>. Гены главного комплекса гистосовместимости, регулирующие рабо-

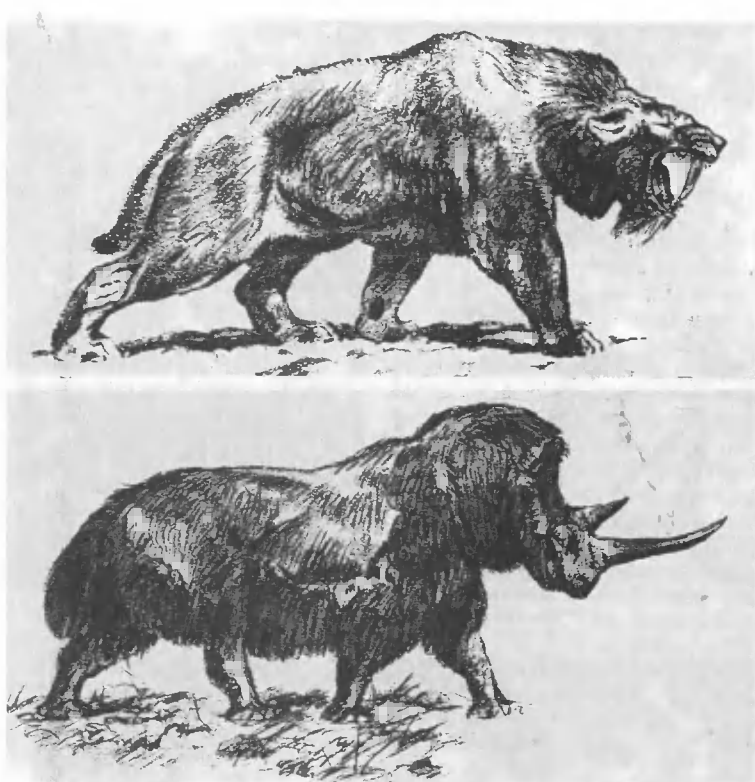
<sup>2</sup> Gill P., Ivanov P. L., Kimpton C. et al. // Nature Genetics. 1994. V. 6. N 2. P. 130—134.

<sup>3</sup> Paabo S. // Scientific American. 1993. N 11. P. 60—66.

<sup>4</sup> Paabo S., Gifford J., Wilson A. // Nucleic Acids Research. 1988. V. 16. P. 9775—9787.



Собранные в Палеонтологическом музее РАН многочисленные скелеты разнообразных динозавров, возможно, в далеком будущем станут изучаться с помощью ПЦР, и тогда «заговорят» гены этих животных, вымерших в конце мелового периода. В е р х у — скелет и череп растительноядного протоцератопса и скелет тарбозавра, в н и з у — скелеты гигантских хищных динозавров.



Эти млекопитающие, вымершие в начале четвертичного периода, уже сейчас представляют собой бесценный материал для молекулярной археологии. Вверху — саблезубая кошка, иногда называемая тигром, внизу — шерстистый носорог, на следующей странице — большерогий олень.

ту иммунной системы, изучены в популяции уиндоверского человека начиная с останков возрастом в 7500 лет. Оказалось, что частотные характеристики генов в этой популяции людей сохранили относительное постоянство на протяжении тысячелетия. Таким образом, можно успешно изучать динамику частот генов в популяциях за интервалы времени, ранее не доступные популяционным генетикам.

На основе анализа генов митохондриальной ДНК из шести популяций музейных образцов шкур трех подвидов кенгуровой крысы возрастом до 78 лет, построены генетические «деревья», позволившие уточнить генеалогические взаимоотношения подвидов<sup>5</sup>. Сотрудники Санкт-Петербургского института ядерной физики им. Б. П. Константинова и Института общей генетики им. Н. И. Вавилова РАН исследовали энтомологические коллекции двухточечной божьей коровки, составленные в течение 85—95 лет, и выделили ДНК, которую в дальнейшем можно использовать в ретроспективных популяционных исследованиях<sup>6</sup>.

В настоящее время с помощью древних ДНК решаются конкретные биологические задачи. Так, Ф. Э. Россом по образцам ДНК саблезубого тигра синтезирован фрагмент гена главного комплекса гистосовместимости (суперлокуса, присутствующего у всех позвоночных), а затем по нуклеотидной последовательности фрагмента определено систематическое положение этого исчезнувшего вида.

В редких случаях в древних растительных остатках ДНК, как оказалось, сохраняется миллионы лет. Так, из зеленого листа магнолии, пролежавшего в иле 17 млн. лет, уже выделена ДНК. Из хлоропласта листа растения *Humulops protea*, жившего 35—40 млн. лет назад и попавшего в кусок янтара, путем амплификации выделен ген, прочитана его нуклеотидная последовательность и на основании полученных и имевшихся данных построены филогенетические «деревья», отражающие происхождение и родство древних и ныне существующих растений<sup>7</sup>.

Извлечена ДНК насекомых, попавших в древесную смолу в третичный период. Судя

<sup>5</sup> Thomas W. K., Paabo S., Villablanca F. X. et al. // J. of Mol. Evol. 1990. V. 31. N 2. P. 101—112.

<sup>6</sup> Булат С. А., Захаров И. А. // Журн. общ. биологии. 1992. Т. 53. С. 861—863.

<sup>7</sup> Poinar H. N., Ceno R. J., Poinar G. O. // Nature. 1993. V. 363. N 6331. P. 677.



по анализу ДНК «доисторического» термита, ее структура несколько отличается от ДНК современных насекомых.

Изучена митохондриальная ДНК, выделенная из костей и мягких тканей четырех видов крупных нелетающих новозеландских птиц моа, вымерших около 1000 лет назад. Выяснилось, что эти птицы гораздо древнее ныне живущих нелетающих киви. По-видимому, киви попали на острова значительно позже, чем моа, жившие там уже 80 млн. лет назад в момент отделения островов Новой Зеландии от материковой Австралии. Показано близкое родство киви с австралийскими эму. Возможно, в момент проникновения на острова киви еще могли летать<sup>8</sup>.

Итак, гены древних «заговорили». Это равносильно прочтению наидревнейших «рукописей», созданных природой, из которых можно узнать сокровенные тайны глубокого прошлого.

7—9 октября 1993 г. в Вашингтоне состоялась вторая Международная конференция по древней ДНК, собравшая около 170 исследователей, интересующихся про-

блемами реконструкции прошлого. Наибольшее внимание было привлечено к проблемам древних популяций человека, а также к пониманию возможности сохранения ДНК в течение миллионов лет.

Методами молекулярной археологии можно решать и современные задачи. В настоящее время чрезвычайно актуальна защита и сохранение популяций диких животных. В связи с этим в США создана генетическая лаборатория, где, используя метод ПЦР, раскрывают преступления, связанные с уничтожением диких животных. Специалисты проводят генетическую идентификацию останков животного с места охоты или чучела (либо другого охотничьего трофея), обнаруженного в какой-либо частной коллекции. Тем самым доказывается или опровергается причастность владельца трофея к варварской акции, проведенной порой на другом континенте.

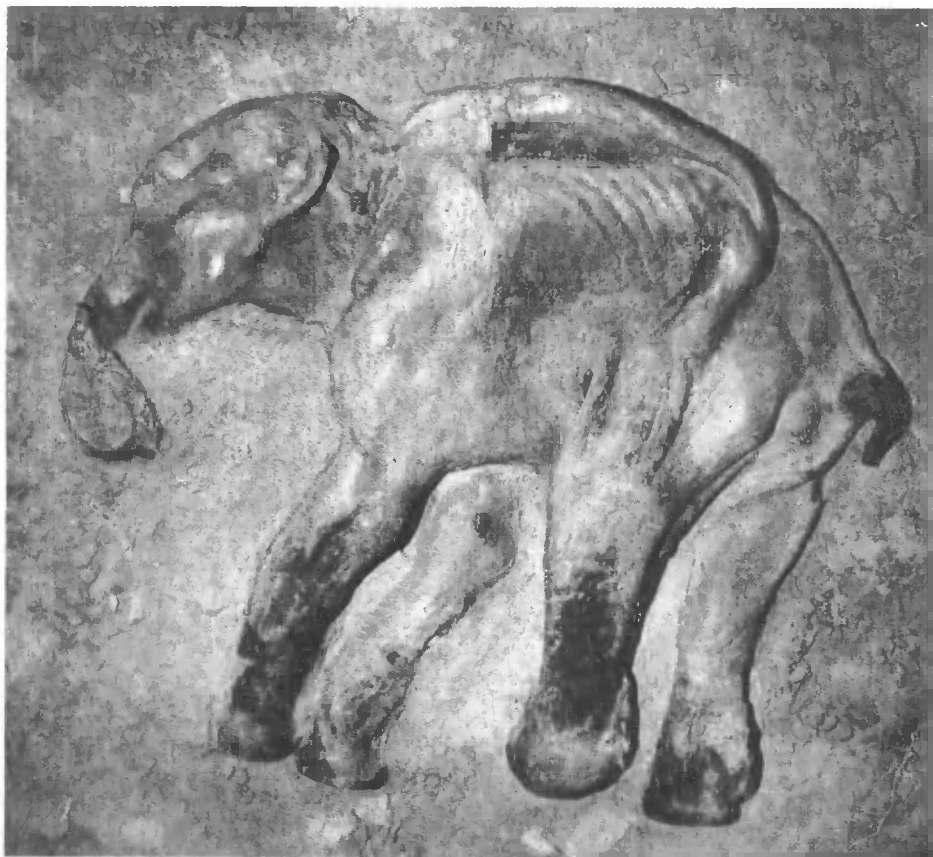
«Человек разучился правильно обходиться с живой природой», — говорил К. Лоренц, имея в виду прежде всего современного человека, хотя невежество по отношению к природе, в частности к животному миру, *Homo sapiens* проявлял, к сожалению, со дня своего рождения. Многие виды животных исчезли еще в ледниковый период: пещерный медведь, гигантский олень, бобр, ленивец, шерстистый носорог и т. д. Предполагается, что они вымерли не в результате неблагоприятных климатических условий, а из-за варварской охоты. Останки вымерших животных сохранились на Земле, об этом красноречиво говорят многочисленные археологические находки. Сегодня у нас появился шанс спасти фрагменты генома исчезнувших видов, хотя бы частично реабилитировать себя перед лицом природы.

На наш взгляд, уже сейчас достаточно реально создание банков с фрагментами реликтовых ДНК. Используя эти древние гены, можно отчасти опровергнуть тезис о необратимом ходе эволюции: древние гены как резервуар генетической изменчивости могли бы послужить восстановлению исчезнувших уже в историческое время пород; восполнить утраченное генетическое разнообразие видов, находящихся сейчас на грани исчезновения и занесенных в разного рода Красные книги; сбалансировать совокупность древних и современных генов при выведении новых пород домашних животных.

Пока кажется фантазией идея о возможности реконструкции древних генов вымерших животных, например, тура, встраивания (допустим, методами генной инженерии) в генофонд ныне живущих потомков

<sup>8</sup> Cooper A., Mourerchauvire C., Chambers G. et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1992. V. 89. N 18. P. 8741—8744.

Мамонтенок Дима, пролежавший в вечной мерзлоте более 40 тыс. лет, найден в 1977 г. в Магаданской области. Он стал первым экземпляром, ДНК из которого выделена и изучена молекулярными биологами.



(теперь это крупный рогатый скот) и в конечном итоге — последовательного воссоздания отдельных генов тура или любой другой предковой формы, родственной современным видам.

Вероятно, еще большей фантазией выглядит предположение о том, что методами молекулярной археологии удастся вернуть природе вымершие виды: древняя ДНК сильно фрагментирована, а следовательно, «собрать» все гены исчезнувших организмов невозможно. Кроме того, мы не знаем порядок их расположения в хромосомах, не умеем воссоздавать клетки животных и получать из них живые организмы.

В молекулярной археологии существуют методические трудности, в первую очередь связанные с выделением образцов ДНК, так как далеко не из любых, даже и хорошо сохранившихся останков можно получить ДНК. Например, в останках древних людей, обнаруживаемых в торфяных болотах, ДНК уже полностью разрушена действием дубильных веществ. Вероятно, мало надежды на выделение ДНК из тех краниологических

образцов, которые подвергались термической или химической обработке, — ДНК могла распасться на отдельные нуклеотиды. Наиболее пригодны для выделения образцов ДНК и последующей ПЦР кости, шкуры, мумии.

Велика также вероятность загрязнения древних образцов современной ДНК в процессе исследования. Особенно трудно работать с древней ДНК человека, так как все, кто прикасается к древним останкам, могут оставить на них следы своей собственной ДНК. Она-то и будет копироваться в ПЦР! Гораздо меньше вероятность загрязнения древней ДНК растений и животных. К сожалению, пока изучены лишь небольшие участки генома древних организмов, что само по себе ценно, но все же ограничивает возможность интерпретировать полученные результаты.

Предстоит еще очень многое сделать, что-то улучшить, отработать, понять. Но принципиальные вехи новой науки, безусловно, обозначены, и мы уверены — молекулярную археологию ждет блестящее будущее.

# Автуничи — сельское поселение эпохи Киевской Руси

А. П. Моця,  
доктор исторических наук  
Институт археологии АН Украины  
Киев

**Э**КСПЕДИЦИЯ Института археологии АН Украины, Черниговского и Брянского пединститутов, а также Гомельского археологического центра на протяжении вот уже семи полевых сезонов изучает сельское поселение эпохи Киевской Руси, которое расположено около с. Автуничи на севере Черниговской обл. Само местонахождение этого памятника в административном пограничье Украины, России и Белоруссии делает результаты раскопок весьма необходимыми для археологов-медиевистов всех названных современных государств. К настоящему времени исследовано более 2,2 га площади поселения, полностью раскопан курганный могильник, т. е. по числу раскрытых объектов и их объему этот памятник оказался на первом месте среди аналогичных ему в Восточной Европе.

Сельская тематика интересовала ученых и ранее, но чаще всего эпизодически или в контексте подготовки крупных обобщающих работ. Сегодня результаты исследований Автуничского поселения во многом изменяют наши представления об условиях жизни коллектива эпохи средневековья в конкретной экологической обстановке.

Во-первых, следует отметить оптимальное использование ландшафта и природных ресурсов этого микрорегиона полесской зоны: жилища и другие постройки были расположены на пологом берегу неглубокого, но обширного озера,

что обеспечивало жителей как водой, так и рыбой (орудия ловли — крючки, гарпуны, грузила для сетей, а также рыбьи кости и чешуя зафиксированы при раскопках). Во-вторых, вполне обоснованно можно считать, что местное земледелие не давало достаточного количества пищи (выявлены лишь единичные находки сельскохозяйственных орудий — железные узколезвийные наральники, косы, серпы, каменные жернова), а потому значительное место в хозяйстве занимало скотоводство (крупный и мелкий, рогатый скот, лошади, свиньи, птицы). В данном регионе оно было наиболее эффективной отраслью (на территории поселения обнаружены следы загонов для скота), а вот охота играла второстепенную роль: только 4,5 % костей относятся к диким особям. Вероятно, в лес отправлялись в основном за мехом и для пополнения продовольственных запасов — за грибами и ягодами.

Но этим использование природных ресурсов полесской зоны не ограничивалось. Первые жители поселения, появившиеся здесь, вероятно, во времена княжения в Киеве Владимира Святославича, на рубеже I и II тысячелетий н. э., обнаружили запасы болотной железной руды и пригодной для гончарного ремесла глины. Эти дары природы тоже оптимально разрабатывались во времена интенсивного функционирования Автуничского поселения — в XI—XII вв. Годную для переплавки болотную руду добывали, как и в более позднее время, недалеко от селища — в ходе разведочных работ экспедиции были найдены

углубления, где ее выкапывали. А на площади самого памятника мы обнаружили как обломки крицы (твердой губчатой железной массы со шлаковыми вкраплениями, заполняющими поры и полости), так и разнообразные железные изделия. Их металлографический анализ показал, что сельские ремесленники владели всеми известными в то время приемами обработки металла, однако в основном применяли отдельные технологии, традиционные для каждого региона.

Определенно неожиданным для сельской местности оказался уровень развития гончарного производства. Помимо разнообразной кружалной керамики (горшки, крынки, миски, сковородки, солонки, крышки, амфорки, емкости специального назначения и т. п.) выявлены и весьма оригинальные изделия. Одно из них — рукоятка нагайки, имитировавшая костяные навершия плетей княжеских дружинников. Установлено, что здешние селяне пытались изготавливать даже плинфу — тонкий древнерусский кирпич, но широкого развития это не получило вследствие ненадобности изделия в сельском хозяйстве и быту. Как упоминалось, глину добывали поблизости от самого поселения (выявлено 24 карьера), а обжиг производился на территории отдельных усадеб, где находились горны различной конструкции (на сегодня таких сооружений зафиксировано девять).

Еще одной отраслью хозяйства селян стал лесотехнический промысел — экспедицией раскопано около 30 ям для смолокурения и возгонки



Глиняная имитация костяного нагаяйки. Автуничи. XI—XII вв.

дгтя. Популярными занятиями были также обработка дерева (найжены резец, ложкорез, струг), кожи (о чем свидетельствуют шилья и швайки) и некоторые другие.

Ряд находок позволяет утверждать, что материальная культура поселения, находящегося на территории одного из южнорусских княжеств, во многих элементах не уступала городской. На это указывают детали вооружения воина и снаряжения коня, элементы костюма, украшения, культовые вещи. Что же касается физического развития жителей Автуничского поселения, то, судя по антропометрическим данным, они мало в чем уступали жителям крупных центров типа Чернигова.

На исследованных нами площадях зафиксированы группы синхронных объектов, зачастую огражденных по периметру, что может указывать на усадебный характер застройки всего поселения. Анализ взаиморасположения построек в пространстве и времени приводит к выводу о существовании пяти строительных периодов в развитии данной селищной структуры.

Картографирование индивидуальных находок позволило проследить интересную ситуацию: в северной части поселения (на территории, которая составляет менее трети всей исследованной площади) сконцентрировано около 60 % таких вещей. Многие из них носят четко выраженный элитарный характер и, вероятно, представляют собой элементы феодального быта: боевые нож и топоры, детали кольчуги, наконечники стрел, стремени и шпора, удила и псалии, глиняная

статуэтка (возможно, среднеазиатского происхождения), амфорная тара, византийские и севернорусские стеклянные браслеты, серебряные перстни и кольца, дисковидная застежка для плаща и т. п. Обращают на себя внимание предметы, свидетельствующие как об имущественном расслоении и наличии частной собственности (замки, ключи, стеклянная и поливная посуда), так и об относительно высоком культурном уровне проживавших здесь людей (пряслица и крышки с граффити — процарапанными буквами, игральные кости, керамическая игрушка — яичко с шариком внутри, шашка, фишка). Особо следует выделить обломок бракованного горшка XII в., на стенке которого (еще по сырой глине) гончар, можно сказать, каллиграфически сделал надпись. Сотрудник Института археологии РАН А. А. Медынцев прочла ее сохраняющуюся часть, состоящую из двух фрагментов: «...помози рабу своему М...» Ценность этой находки состоит в том, что это самая древняя надпись, сделанная на обычном глиняном горшке самим гончаром. Как и знаменитые берестяные грамоты, она свидетельствует о распространении грамотности в различных прослойках древнерусского общества.

Среди найденных культовых изделий представляют интерес нательные крестники, в том числе перламутровый с изображением креста на Голгофе. Они сосуществовали с подвесками-бубенчиками и амулетом из клыка домашней свиньи. Не исключено, что на упомянутой части поселения развивалось и ювелирное производство. Здесь найдена свинцовая пластинка со следами ковки на ней (могла использоваться как подушка для чеканки, металлообработки). Об этом же свидетельствует бронзовый слиток, служивший сырьем для ювелира. Следует отметить, что на других археологически изученных участках подобные изделия — украшения, крест-складень, наконечники стрел, глиняное навершие канчука — встречаются намного реже при столь же высокой степени освоенности территории.



Надпись на необожженном горшке, сделанная самим гончаром. Автунич. XII в.

Итак, изученная нами усадьба, для которой характерны долговременность существования, достаточно высоко организованное многоотраслевое хозяйство, удобное расположение, концентрация находок элитарного предназначения, может быть интерпретирована как место проживания представителей социальной верхушки жителей Автуничского поселения. Вероятно, статус главы этой усадьбы был аналогичен по функциям статусу упомянутого в «Правде Русской» сельского старосты княжеской вотчины. Именно через таких представителей местного самоуправления осуществлялась связь крестьян со всей структурой древнерусской государственной феодальной иерархии.

Говоря о самой организации социальных взаимоотношений на рассматриваемом сельском поселении, где все его обитатели проживали в пределах одной территориальной сельской общины, необходимо обратить внимание на три изоли-

рованные курганные группы на общем могильнике, что позволяет предполагать проживание в поселке трех больших семейств. Важность такого наблюдения состоит в том, что традиционно большинство историков рассматривает большую семью как обязательный элемент первобытного общества (объясняемый слабостью индивидуума перед природой), а малую семью — как элемент эпохи цивилизации. Ситуация в Автуниках, напротив, подкрепляет мнение тех, кто говорит о возможности возникновения крупных коллективов ближайших родственников и в более позднюю эпоху, если это было экономически выгодным (особенно в полесской зоне).

Сами курганы, насыпанные через одно-два столетия после введения на Руси христианства красноречиво свидетельствуют (наряду с вышеупомянутыми религиозными символами) о религиозном синкретизме — «двуверии» русичей того времени. Но дело здесь не только в самом желании почитать старые божества как таковые. Можно согласиться с мнением А. Я. Гуревича, полагавшего, что «сельская жизнь, с ее неторопливой размерен-

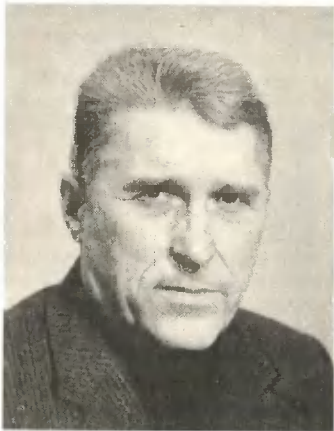
ностью и периодической сменной вечно возвращающихся производственных сезонов, была главным регулятором социального ритма общества. Предельная приверженность традиции, находившая свое законченное выражение в установке на старину и во враждебности или недоверии к любому новшеству, неслышанному и, следовательно, не получившему одобрения, консерватизм всей общественной жизни, начиная от способов ведения хозяйства и форм поселения и кончая навыками мысли, господством стереотипа в художественном творчестве, — не связаны ли эти коренные признаки общественного сознания той эпохи с преобладанием крестьянства в раннефеодальной структуре? Можно ли объяснить устойчивость магического мышления в Европе того времени, если не принимать во внимание крестьянской его природы?»<sup>1</sup>.

Изучение сельского поселения эпохи Киевской Руси у с. Автунич (которое пока еще не завершено) дает основания полагать, что подлинную ситуацию во взаимоотношениях человека и природы в средневековые времена можно реконструировать не только с помощью письменных источников и исследования градов, но в значительной мере и через восприятие и анализ материальной культуры ординарных поселков, где проживала основная часть «двигателей» феодального общества.

<sup>1</sup> Гуревич А. Я. Средневековый мир: культура безмолвствующего большинства. М., 1990. С. 63.

# Моделирование блоковой структуры земной коры

В. С. Пономарев, А. Н. Ромашов



Виталий Степанович Пономарев, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института экспериментальной геофизики Объединенного института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН. Занимается проблемами геомеханики, а также сейсмичностью Земли. Неоднократно публиковался в «Природе».



Александр Николаевич Ромашов, доктор технических наук, заведует лабораторией Института динамики геосфер РАН. Научные интересы связаны с моделированием процессов деформирования и разрушения в литосфере, разработкой геодинамической модели Земли.

**З**ЕМНАЯ КОРА — фундамент дома, в котором мы живем, — не представляет собой сплошного, монолитного тела. Вся она испещрена множеством разрывных нарушений самой разной величины — от микроскопических трещинок, секущих зерна минералов, до мощных и сложно построенных зон разломов, рождающих цепи гор и простирающихся на десятки, сотни, а то и тысячи километров.

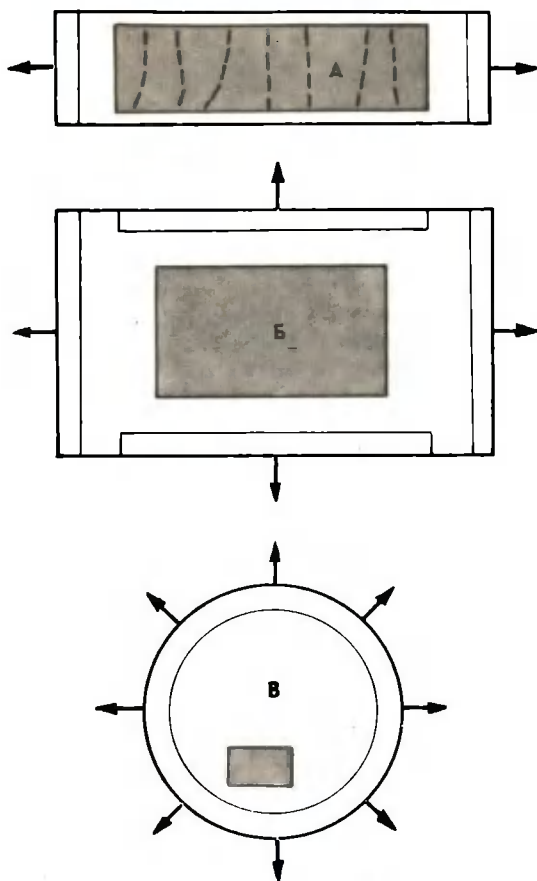
С естественной трещиноватостью так или иначе связаны многие проблемы инженерной геологии, гидрогеологии, строительства подземных сооружений. Понимать, как образуются трещины и их системы, необходимо для того, чтобы более продуманно разрабатывать нефтяные и газовые месторождения, точнее оценивать сейсмическую опасность, определять стратегию захоронения радиоактивных отходов. По-видимому, время действий наугад миновало: дому, в котором все мы живем, уже и так нанесен трудно поправимый ущерб. Задача ныне не только в том, чтобы грамотно, не по-варварски, взять что-то от природы, но и дать ей — реанимировать уже погубленное.

Трещины, населяющие земную кору, чрезвычайно разнообразны — и по происхождению, и по размерам, и по тем структурным рисункам, которые образуют их совокупности. Однако, перебираясь со ступени на ступень почти бесконечной лестницы иерархической организации среды, среди трещин, наблюдаемых и в электронный микроскоп, и дешифрируемых на снимках из космоса, среди непрестанно меняющегося структурного ландшафта можно уловить один и тот же структурный мотив — ортогональные сети трещин, придающие субстрату блоковое строение — некое грубое подобие кирпичной кладки<sup>1</sup>.

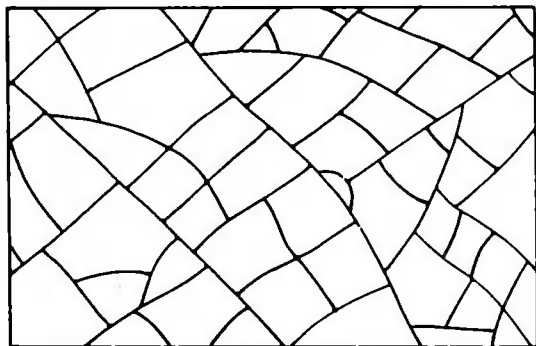
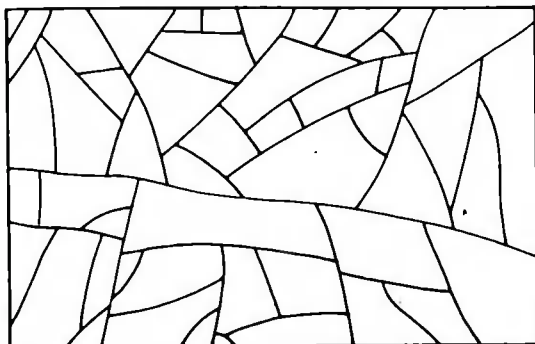
Трещины отдельности, расчленяющие субстрат на блоки, — самый распространен-

© Пономарев В. С., Ромашов А. Н. Моделирование блоковой структуры земной коры.

<sup>1</sup> О блоковой делимости как о всеобщем принципе организации субстрата земной коры подробнее см.: Садовский М. А., Писаренко В. Ф. Подобие в геофизике // Природа. 1991. № 1. С. 13—23.



Способы нагружения нижнего слоя в разных модификациях двухслойных моделей: А — с одноосным растяжением, Б — с двuosным растяжением, В — с плоским всесторонним растяжением. В модели А образуется система субпараллельных трещин, обозначенных на схеме пунктиром. Справа показана картина разрушения в модели Б (вверху) и фрагмент картины разрушения в модели В.



ный, но вместе с тем и самый неизученный тип разрывных нарушений. Вполне понятно поэтому, что выяснение природы и механизма образования блоковой делимости представляет собой одну из насущнейших задач современной геомеханики<sup>2</sup>. Настоящая статья содержит результаты экспериментальных исследований, выполненных в этом направлении авторами.

## ДВУХСЛОЙНЫЕ МОДЕЛИ

Механизм образования трещин отдельности изучался на двухслойных моделях<sup>3</sup>. Первоначально они предназначались для ис-

следования взаимодействия внешней и внутренней оболочек Земли<sup>4</sup>. Однако вскоре выяснилось, что область их возможного приложения гораздо шире, так как эти модели способны имитировать механическое поведение двухслойных систем, которые являются простейшими структурными элементами самых различных геологических образований. Так, в природе широко распространены слоистые образования. Это и слои осадочных комплексов, которые так эффектно смотрятся в крутых бортах горных ущелий, и тектоническая расслоенность горных пород. Сама Земля, как об этом свидетельствуют геофизические данные, состоит из сферических оболочек, как бы вложенных одна в другую. Каждая пара смежных слоев, или «сфер», представляет собой двухслойную систему, в которой возможна передача механических

<sup>2</sup> Подробнее о состоянии проблемы блоковой делимости земной коры см.: Земля. Введение в общую геологию. М., 1974. Т. 2. С. 534—536.

<sup>3</sup> Садовский М. А. и др. // Изв. АН СССР, Сер. «Физика Земли». 1982. № 9. С. 3—9; Кондратьев В. Н. и др. // Там же. 1982. № 3. С. 17—18.

<sup>4</sup> Ромашов А. Н. // Изв. АН СССР. Сер. «Физика Земли». 1987. № 12. С. 3—13.

усилий от слоя к слою по поверхности их контакта.

В качестве элементарных двухслойных систем геологической среды можно рассматривать не только слои в их обычном геологическом понимании, но и зоны контакта неоднородностей — от микроскопических зерен минералов, слагающих горную породу, до крупных геологических тел и таких мегаскопических образований, как литосферные блоки и плиты. Наконец, двухслойность может возникнуть даже в исходно однородной среде, если на одной из границ меняются термодинамические условия. С такого рода двухслойными системами часто сталкиваются в технике — они, например, спонтанно возникают при изготовлении стекла или стального проката.

Двухслойные модели готовят следующим образом. Лист резины толщиной около 1,5 см заливают тонким слоем (3—4 мм) легкоплавкого модельного материала — воска или парафина. Остывая, материал верхнего слоя прочно сцепляется с подложкой. После его затвердевания резину растягивают с помощью системы домкратов. В различных модификациях двухслойных моделей нагружение осуществляется по-разному: или по одной или двум осям, или же модель подвергается плоскому всестороннему растяжению. Обычно модель нагружается до состояния близкого к разрушению.

Спустя некоторое время в модели, представленной самой себе, в ее верхнем слое, начинают возникать трещины, которые постепенно покрывают пространство модельного материала все более частой сетью, расчленяя его на множество «отдельностей», или «блоков». Верхний слой, таким образом, приобретает блоковую структуру, столь характерную для земной коры. Со временем интенсивность трещинообразования убывает, но отдельные трещины возникают даже через несколько часов после начала разрушения. Нагрузив модель дополнительно, процесс разрушения можно продолжить. Так, в круглом блоке материала диаметром около 50 см удается получить до 1,5 тыс. трещин.

Процесс расчленения материала на блоки не бесконечен. При сильном измельчении начинается отслаивание мельчайших «блоков» от их подложки, на чем дробление прекращается. В целом опыты показали, что характерной особенностью структур разрушения двухслойных систем является образование трещин отдельности, сообщающих разрушаемому субстрату блоковое строение.

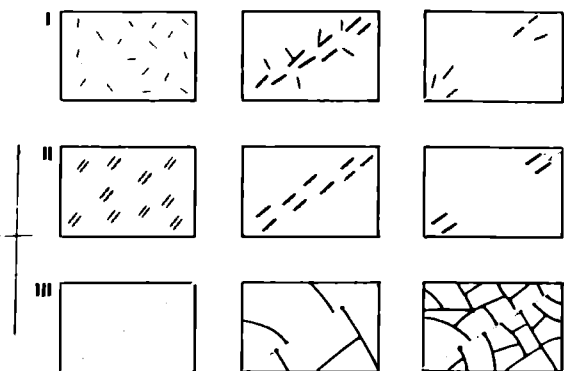
## РАЗЛИЧНОЕ В СХОДНОМ, СХОДНОЕ В РАЗЛИЧНОМ

На первый взгляд, разрушение в двухслойной модели настолько отличается от обычного, «канонического» разрушения (наблюдаемого, например, при одноосном растяжении образцов или при их изгибе), что создается впечатление, будто природа задалась целью создать два совершенно непохожих сценария разрушения.

Ради удобства условимся называть разрушение, следующее традиционному сценарию, разрушением первого рода, а разрушение по типу наблюдаемого в двухслойных моделях — разрушением второго рода.

При развитии событий по первому сценарию в нагруженном теле вначале возникает множество мельчайших трещинок, хаотически рассеянных по всему его объему. Спустя некоторое время процесс образования трещин локализуется в узкой зоне, тем самым как бы намечая трассу будущего главного («магистрального») разрыва. Трещины в этой зоне растут все быстрее и быстрее, перемишки между подросшими трещинами разрушаются, и все они наконец сливаются в единый магистральный разрыв. На этом сопротивление образца внешней нагрузке прекращается — он разрушен. Согласно общепринятым представлениям, именно по такому сценарию происходит подготовка очагов больших землетрясений.

При развитии событий по второму сценарию каждая из зародившихся трещин одноактно, без заметных остановок в росте, выходит на границу блока, в котором она возникла, тем самым расчленяя его на две «отдельности». Ничего похожего на концентрацию трещин в зоне будущего разрыва в этом случае не наблюдается. Каждая из образовавшихся отдельностей, подобно живым клеткам, делится на две близкие по величине «дочерние» отдельности — и т. д. Сетка трещин отдельности статистически равномерно покрывает пространство материала, и только степень раздробленности с течением времени постепенно возрастает. Если в первом случае трещины на стадии их концентрации стремятся к слиянию, сближаясь и наращивая друг друга по простиранию, то во втором случае каждая трещина стремится возникнуть на возможно большем удалении от своих соседей. К границам же исходных отдельностей трещины стремятся подойти под углами, близкими к прямому. В результате материал оказывается расчлененным на множество близких по размерам структурных фрагментов, форма большин-



Сравнение классических схем разрушения, принятых в сейсмологии в качестве моделей очага землетрясения, с развитием разрушения по схеме блоковой делимости. Согласно модели лавиннонеустойчивого трещинообразования [I], однородное растрескивание по объему на первой стадии разрушения сменяется затем концентрацией трещин в локальной зоне, из лавинным разрастанием, которое завершается образованием основного разрыва. Согласно дилатантно-диффузионной модели [II], вначале появляются рассеянные по объему трещины отдельности, которые затем концентрируются в узкой зоне и заполняются водой. Процесс завершается падением прочности в этой зоне и появлением основного разрыва. Особенности процесса блоковой делимости [III] прямо противоположны: вначале возникают самые большие трещины, вспарывающие «целину» — ненарушенный материал, а затем происходит последовательное дробление материала трещинами меньшей длины на все более мелкие отдельности.

ства из которых тяготеет к прямоугольной. В процессе разрушения материал приобретает характерную блоковую структуру.

Причина столь резких различий связана, по-видимому, с тем, что в двухслойных моделях и в опытах, послуживших экспериментальным прототипом общепринятых теоретических представлений, передача усилия элементам разрушаемых тел, или, говоря более общо, их энергоснабжение, осуществляется по-разному.

Первый сценарий разрушения реализуется в тех случаях, когда усилие в теле передается последовательно от одного его сечения к другому, как это происходит например, при одноосном растяжении, изгибе или кручении. Простейший пример системы с последовательным энергоснабжением — обычная цепь, удерживающая рвущуюся с нее собаку или ведро воды, вытягиваемое из колодца. Чтобы цепь разрушилась, достаточно лопнуть любому ее звену — подобно тому, как перегорание одной-единственной лампочки из множества, соединенных последовательно, сразу же прекращает энергоснабжение всех остальных лампочек.

В двухслойных системах реализуется другой принцип — параллельное энергоснабжение. В этом случае усилие передается от одного слоя к другому по всей поверхности контакта слоев. Энергоснабжение любого участка контактирующего слоя осуществляется независимо, и, подобно тому, как перегорание одной из лампочек в случае их параллельного соединения не сказывается на работе остальных, разрушение какого-либо из участков не прекращает подачу энергии к остальным, еще не разрушенным участкам.

Приняв тезис о независимости энергоснабжения, мы сразу же получаем возможность объяснить особенности разрушения второго рода самым естественным образом. Так, безостановочный рост однажды возникшей трещины объясняется тем, что она черпает энергию, необходимую для своего роста, вскрывая «нетронутые» запасы, «складированные» на пути ее распространения. Каждая трещина разрушает материал только вблизи своих берегов, благодаря чему в остальном пространстве неразгруженного материала могут возникнуть все новые и новые трещины. Стремление же к Т-образному сочленению трещин обусловлено тем, что трещина, согласно принципу минимальной затраты энергии на ее развитие, стремится к движению по нормали к изолиниям поля упругой энергии, подобно тому, как ручей стремится проложить свое русло по склону горы кратчайшим путем — по линии ската воды<sup>5</sup>.

Попытаемся теперь ответить на вопрос, является ли зависимость характера разрушения от вида энергии снабжения абсолютной.

Выделив из множества трещин отдельности какую-либо одну и рассматривая ограниченную зону, в которой она возникла, как бы при сильном увеличении, мы увидим, что события в этой области могут развиваться по первому сценарию разрушения, т. е. с проработкой зоны будущей трещины отдельности «подготовительными» трещинами. Такое развитие событий особенно характерно для не слишком прочных сред, например для усыхающей почвы. В этом случае оба вида разрушения сосуществуют в одном процессе, но на разных масштабных уровнях: в виде образования систем трещин отдельности, расчленяющих усыхающую почву на полигональные площадки, и в виде процессов подготовки будущей трассы каждой из отдельных трещин.

<sup>5</sup> О теоретических аспектах образования трещин в энергонасыщенных средах подробнее см.: Морозов Е. М., Фридман Я. Б. // Докл. АН СССР. 1961. Т. 139. № 1. С. 87—90.

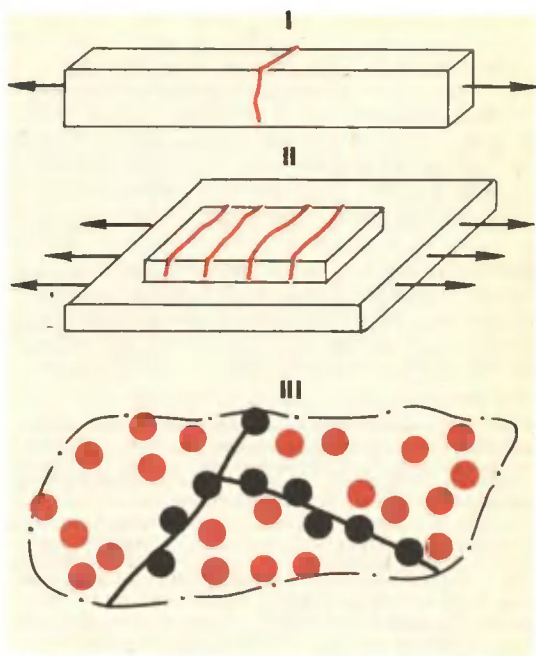
И еще одно замечание. Известно, что разрушение в хрупких и очень прочных материалах, способных накопить большие запасы упругой энергии (кварц, бездефектное стекло, хрупкая сталь), может развиваться по сценарию разрушения второго рода и в случае последовательного энергоснабжения. Например, лист оконного стекла, предварительно протравленный плавиковой кислотой, чтобы устранить поверхностные трещинки, уменьшающие его прочность, при изгибе может разрушиться со звуком ружейного выстрела, разлетевшись на бесчисленные осколки. Специальные исследования показали, что в таких случаях предварительная «проработка» подготовительными трещинами зоны будущего магистрального разрыва практически отсутствует. Трещина может внезапно «стартовать» от микроскопического дефекта или локального кластера дефектов и далее распространяться со скоростью, близкой к скорости звука, в ненарушенном материале. Сценарий разрушения первого рода в этом случае проявляется в как бы «свернутом», «вырожденном» виде, ограничиваясь областью локальной «стартовой площадки».

Приведенные примеры доказывают, что в конечном счете характер разрушения зависит от способности тела запасать упругую энергию. Сильно насыщенный упругой энергией субстрат становится хрупким и склонным к динамичному разрушению даже будучи по своей природе достаточно пластичным. Разрушение второго рода более свойственно системам с независимым энергоснабжением, поскольку в этом случае насыщение тела упругой энергией осуществляется эффективнее.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ДВУХ-СЛОЙНЫЕ СИСТЕМЫ

Механическая сила, действуя на тело, производит определенную работу по его деформированию и разрушению. На эту работу расходуется энергия. Сила без возбуждающего ее источника энергии существовать не может. В механике тем не менее оперируют главным образом одними «силами». На расчетных схемах они обозначаются стрелками, действующими на тело «из воздуха», сама же система, в которой сила возбуждается, обычно остается за кадром.

И действительно, для множества задач механики способ возбуждения силы значения не имеет: какая разница, что или кто управляет действием рычага — вес подвешенной к нему глыбы, ухватившийся за рычаг чело-



Последовательный [I], параллельный [II] и автономный [III] способы энергоснабжения механических систем. В первом случае стержень растягивается вдоль оси. Образование сквозной трещины в любом из сечений стержня снимает напряжения во всех остальных сечениях. Во втором случае блок модельного материала, например парафина, растягивается по основанию посредством подложек (двухслойная система). Появление сквозной трещины снимает напряжения лишь в непосредственной близости от нее и не приостанавливает развитие трещины в других сечениях. То же справедливо и в третьем случае — в отношении сред, содержащих множество автономных источников упругой энергии.

век или электрический привод? Однако и в геологической среде, и в окружающем нас рукотворном мире широко распространены механические системы, в которых совмещены как действующие силы, так и источники их возбуждения. Разрушение твердых тел в этом случае уже не просто результат действия силы, а скорее результат процесса, протекающего в этих телах.

Растяжение резиновой подложки в двухслойных моделях осуществлялось внешними силами, с помощью домкратов. Но и в природе, и в технике обычны двухслойные системы, способные возбуждать напряжения самостоятельно, за счет тех энергетических преобразований, которые протекают непосредственно в веществе этих же систем.

Вот пример. Каждый видел сетки трещин на илистом дне высыхающих луж или на лесных тропинках. Почему они появляются?

Поверхностный слой ила или почвы, теряя влагу, стремится сократить свою площадь, подобно мистической шагреновой коже в романе О. Бальзака. Более глубокая и более влажная «подложка» сохраняет, однако, свою прежнюю площадь и препятствует сокращению «распяленного» на ней верхнего усахающего слоя. В результате в образовавшейся двухслойной системе возникает система самоуравновешенных напряжений. Если усыхание достаточно велико, напряжения в системе достигнут критических значений и в ее верхнем растянутом слое возникнут трещины. Сходным образом возникают сетки трещин в слоях масляной краски старинных картин, в асфальтовых покрытиях, в штукатурке. Такова же природа грубопараллельной борозчатости коры многих пород деревьев. В художественной керамике известен стиль «цек», состоящий в раскраске керамических поверхностей, покрытых очень густой сетью трещинок. Их получают по той же общей схеме, применяя при этом специальную технологию. Несмотря на разнообразие процессов, снабжающих разрушение необходимой энергией, во всех случаях напряжения возникают одинаково — в результате несогласованных изменений, «нестыковки» смежных слоев.

Принцип двухслойности, как уже отмечалось, заложен в саму структуру геологической среды. Вместе с тем она является ареной действия разнообразнейших химических, физических и механических процессов, в результате которых различные элементы геологической среды претерпевают более или менее значительные изменения объема. Но поскольку изменения объема в структурных элементах двухслойных систем в общем случае неодинаковы, это влечет за собой «нестыковку» слоев двухслойных систем, приводит к возбуждению локальных полей «внутрислойных» напряжений. В свете этих рассуждений двухслойные элементы геологической среды представляются своеобразными естественными «устройствами», способными к самостоятельным энергетическим преобразованиям, возбуждению собственных полей напряжений. Иными словами, геологическая среда энергетически активна.

Каждое единичное поле напряжений, возбужденное самогенерирующей двухслойной системой, представляет собой локальную автономную систему противоположных

по знаку напряжений, уравновешенную в объеме среды, который соизмерим по размерам с данной системой. Поскольку двухслойные системы геологической среды имеются на любом из уровней ее организации, диапазон размеров таких систем напряжений огромен.

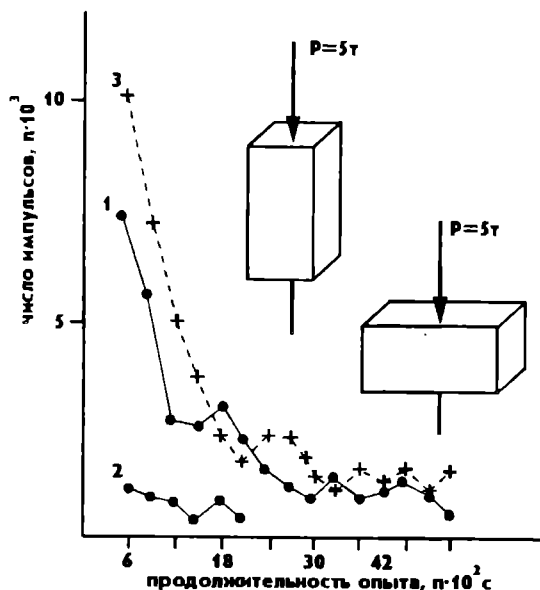
## РАЗРУШЕНИЕ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ СРЕД

Чтобы «запустить» двухслойную систему, т. е. заставить ее работать в качестве энергетического преобразователя и возбудить в ней «внутрислойное» поле напряжений<sup>6</sup>, достаточно изменить термодинамические условия, в которых она находится (например, изменить температуру или давление, или химический потенциал). Что, например, произойдет с куском гранита, тем или иным способом извлеченным из недр Земли, где он находился в условиях высокого давления, на дневную поверхность?

Эвристической моделью того, что в нем произойдет, может послужить не то было, не то легенда, повествующая о том, как Сталин в свое время велел изготовить большой круглый стол, представляющий собой мозаику из кусочков всех пород деревьев, произрастающих в СССР. Этот стол должен был символизировать единство народов, населяющих страну. Стол, конечно, изготовили, но вскоре он стал коробиться, трещать и разваливаться чуть ли не на глазах. Стол пришлось убрать. И вообще, этот стол оказался не столько символом единства народов, сколько наглядной моделью исторической судьбы разнородных национальных конгломератов. Но в дальнейшем рассмотрение этой модели мы здесь входить не будем, а возвратимся к образцу гранита.

Горная порода, с виду совершенно монолитная, напоминает этот стол хотя бы тем, что представляет собой конгломерат сцементированных зерен минералов с существенно разными упругими свойствами. На изменение давления зерна будут реагировать по-разному, но поскольку они между собой прочно «слеплены», каждая пара смежных разнородных зерен обратится в микроскопическую напряженную двухслой-

<sup>6</sup> Подробнее см.: Пономарев В. С. // Проблемы нелинейной сейсмологии. М., 1987. С. 51—64; Пономарев В. С., Трифонов В. Г. Тектонические системы // Природа. 1989. № 7. С. 62—71; Пономарев В. С., Ромашов А. Н. // Современная геодинамика и глубинное строение территории СССР. М., 1990. С. 16—25.



Акустическая эмиссия разгруженных образцов гранита в трех циклах «нагрузка — разгрузка». После первого цикла [1] наблюдается высокий уровень эмиссии; после повторного цикла [2] уровень эмиссии становится очень мал — так называемый эффект Кайзера; после третьего цикла [3], повторенного со сменой оси нагружения, уровень эмиссии вновь повышается.

ную систему. Образец разгруженной породы окажется насыщен миллионами собственных источников упругой энергии, рассеянных по всему объему куска. В нем начнется процесс структурной дезинтеграции, вследствие которой образец с течением времени может рассыпаться на части, а при очень быстром освобождении от давления — даже разрушиться взрывом.

О способности горных пород связывать некоторое количество упругой энергии, сообщаемой им внешним нагружением, а затем, после «отключения» от внешнего источника энергии, длительное время поддерживать активный микросейсмический процесс излучения квантов упругой энергии («акустическую эмиссию»), свидетельствует следующий опыт<sup>7</sup>. Образцы гранита размером  $50 \times 50 \times 100$  мм были подвергнуты одноосному сжатию усилием от 5 до 15 т, выдерживались несколько минут под нагрузкой, а затем нагрузка снималась. Специальная ви-

сокочувствительная аппаратура регистрировала в разгруженном образце очень интенсивную акустическую эмиссию (порядка нескольких десятков тысяч импульсов в течение первого часа после разгрузки), через несколько часов постепенно затухавшую.

Характер трещиноватости в образце, с процессом образования которой связана акустическая эмиссия, недоступен прямому наблюдению. Однако известны опыты, когда поведение энергонасыщенного вещества при его разгрузке изучалось на моделях<sup>8</sup>. Эти опыты предназначались для изучения условий образования так называемых трещин разгрузки, которые появляются в породах земной коры как реакция на снятие гравитационной нагрузки. Обычно это системы трещин, субпараллельные поверхности разгрузки. Например, системы таких трещин окаймляют профили речных долин или повторяют форму котлованов и карьеров. Сама модель представляла собой матрицу из плексигласа, перфорированную круглыми отверстиями. Ее подвергали одноосному сжатию и в сжатом состоянии заливали деформированные отверстия эпоксидной смолой. После затвердевания смолы нагрузка снималась. При этом застывшая смола препятствовала упругому восстановлению формы отверстий, вследствие чего каждое из них становилось центром локальной системы напряжений. Если предварительное сжатие матрицы было велико, в модельном энергонасыщенном материале возникали субпараллельные трещины отрыва, нормальные к оси, в направлении которой осуществлялась разгрузка (т. е. реализовывался структурный мотив, свойственный наблюдаемому в геологических объектах трещинам разгрузки).

Нечто подобное, по-видимому, происходит и в разгруженных образцах гранита. О необратимости осуществившихся в образце структурных изменений свидетельствует так называемый эффект Кайзера: при повторном нагружении образца по одной и той же оси, на одну и ту же величину и его последующей разгрузке образец «молчит». Однако, если образец так же нагрузить, но по другой оси, он снова интенсивно «зашумит». Это доказывает, что при смене осей «нагрузка — разгрузка» образуются по-разному ориентированные системы нарушений. В простейшем случае это могут быть две системы субпараллельных трещин, перпендикулярных друг другу. Именно такой структурный рисунок можно получить в двухслой-

Пономарев В. С., Стрижков С. А., Терентьев В. А. // Докл. АН СССР. 1991. Т. 317. № 5. С. 1112—1115.

<sup>8</sup> Reik G., Vardar M. // Rock Mechanics. 1974. N 6. P. 101—116.

ной модели, подвергнув ее сначала растяжению по одной оси, а после образования системы трещин — по другой.

Характерно, что один и тот же структурный мотив — система субпараллельных трещин — возникает как при одноосной разгрузке энергонасыщенного материала, так и при одноосном растяжении двухслойной модели. Это сходство отнюдь не случайно. Как в случае параллельного, так и в случае автономного энергоснабжения реализуется один и тот же принцип независимого питания отдельных частей разрушаемого тела. Именно эта независимость и предопределяет развитие событий по одному и тому же сценарию. Это значит, что двухслойные модели, по существу имитирующие разрушение систем с автономным энергоснабжением, могут быть использованы для изучения его особенностей.

Переходя к более сложному случаю — плоскому всестороннему растяжению, мы видим, что сетка трещин расчленяет хрупкий слой модели на полигональные отдельности. При этом образуется картина блоковой делимости (правда, не в объемном, как в геологической натуре, а в плоском ее варианте). Сравнивая морфологические особенности блоковой делимости, наблюдаемой в геологических объектах, с особенностями разрушения двухслойных моделей, нетрудно увидеть, что они принципиально сходны с особенностями разрушения в двухслойной модели, или, говоря более общо, и те и другие представляют собой однотипные особенности разрушения второго рода, выраженные в объемном и плоском вариантах.

## СТАТИСТИКИ БЛОКОВОЙ ДЕЛИМОСТИ

Как это уже особо подчеркивалось, двухслойные модели пригодны для имитации образования блоковой делимости в энергонасыщенных средах. Приведем пример их использования для изучения статистик блоковой делимости.

В науках о Земле традиционно привлекают внимание два вида статистик. Одна из них — так называемый закон повторяемости. Он отражает то, на первый взгляд тривиальное, обстоятельство, что чем значительнее явление, тем реже оно встречается. Интуитивно это и так ясно: Моцарты — единичны, а нас много. Нетривиальность же этой статистики заключается в том, что связь явлений с частотой их повторений она представляет количественно. Если выразить эту связь графически, она в двойных логариф-

мических координатах предстанет прямой наклонной линией<sup>9</sup>.

Закон повторяемости в обобщенном виде отражает иерархическую структуру самых разнообразных сообществ. Для человека же, склонного воспринимать мир эмоционально, эта закономерность — из числа тех магических знаков, за которыми он как бы предощущает биение пульса мира. Закону повторяемости, например, подчиняется распределение числа звезд по их величине, распределение числа землетрясений по их энергии. С. Д. Виноградовым было обнаружено, что этому закону подчиняется распределение сейсмических импульсов, излучаемых твердым телом при его нагружении, а М. В. Гзовским — что им описывается зависимость между количеством трещин, обнаруженных в обнажениях, и их протяженностью.

Интерес к другой разновидности статистик возник в 30-е годы, после того как Н. К. Разумовский привел ряд случаев, в которых логарифмы размеров частиц (золотин в золотоносных россыях, частиц горной породы при дроблении и др.) подчиняются нормальному закону, а А. Н. Колмогоров, рассмотрев довольно общую схему процесса последовательного дробления частиц, установил существование такого закона теоретически. График этой закономерности в координатах «число частиц — логарифмы размеров частиц» имеет колоколообразную форму.

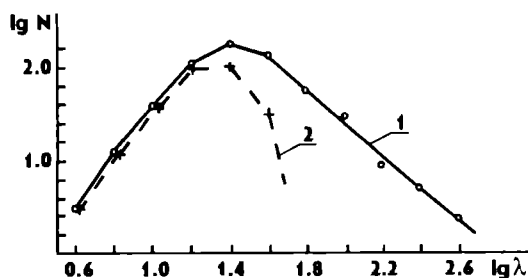
Оба вида статистик отражают разрушение геологической среды. Но почему в одних случаях статистики продуктов разрушения следуют закону повторяемости, а в других — логарифмически нормальному закону? Существует ли связь между этими статистиками, а если существует, то в чем она? Имеет ли график повторяемости ограничение слева, или он прямолинейно уходит в область микромира?

Эти вопросы — одна из тех дежурных тем, которые из года в год оживленно обсуждают на семинарах и совещаниях, посвященных выяснению связей между сейсмичностью и разрушением геологической среды. Простые до очевидности ответы на эти вопросы удалось наконец получить, изучая разрушение двухслойных моделей<sup>10</sup>.

Процесс разрушения регистрировался

<sup>9</sup> См. например: Трубинов Б. А. Закон распределения конкурентов // Природа. 1993. № 11. С. 3—13.

<sup>10</sup> Кулюкин А. М., Пономарев В. С., Ромашов А. Н. Некоторые закономерности разрушения в двухслойной модели // Прогноз землетрясений. № 4. Душанбе — Москва, 1984. С. 200—210.



Распределение количества отдельных ( $N$ ) в зависимости от их размера ( $\lambda$ ). Распределение «с памятью» (1) соответствует сумме всех фрагментов дробления от начала опыта до его завершения; распределение точек в правой части графика близко к закону повторяемости. «Мгновенное» распределение (2) соответствует стадии дробления, на которой опыт завершился.

киносъёмкой. Если на любом из снятых кадров подсчитать количество образовавшихся отдельных  $N$ , вычислить  $\lambda$  — средний размер каждой из них, а затем графически построить зависимость  $N(\lambda)$ , то получится кривая, форма которой близка к колоколообразной.

Правда, графики эмпирических распределений имели столь правильную форму только в том случае, когда дробление по всему пространству блока материала протекало равномерно. Если же оно было неравномерным — например, из-за того, что толщина верхнего слоя не повсюду одинакова, — «колокол» становился асимметричным. Однако, если вместо значений  $\lambda$  в таких случаях брались значения  $\lg \lambda$ , то кривая распределения вновь принимала колоколообразную форму. На то, что статистики продуктов разрушения подчиняются распределению этого вида, и обратил внимание Н. К. Разумовский. Двухслойная модель, таким образом, дает возможность не только воспроизводить эту статистику, столь широко распространенную в геологической натуре, но и варьировать факторы, влияющие на ее формирование.

Каждая отдельность характеризуется определенной продолжительностью «жизни»: от ее появления до разделения на две меньшие части. Если просуммировать все последовательные моменты истории дробления, то окажется, что экспериментальные точки в правой части графика в координатах  $\lg N$ ,  $\lg \lambda$  аккуратно «улягутся» на прямую линию, т. е. в области больших значений  $\lambda$  эмпирическое распределение подчиняется закону повторяемости. Левая

же часть графика в области малых значений  $\lambda$  круто загибается книзу, причем точка перегиба характеризует ту степень измельченности материала, на которой процесс остановился.

Связь между двумя рассмотренными типами статистик очевидна: «мгновенной» картине процесса дробления соответствует нормальное (или логарифмически нормальное) распределение, а картине, обобщенно отражающей тот же процесс дробления, но развернутой во времени, — закон повторяемости. Последний, таким образом, соответствует случаю, когда эмпирическая совокупность данных отвечает фрагментам разных стадий дробления. Закону повторяемости будут подчиняться и совокупности данных, отражающие разные стадии процесса дробления, развернутые не во времени, а в пространстве (например, при центробежном распространении процесса разрушения от какой-либо геологической границы)<sup>11</sup>.

Столь же очевидно, что график повторяемости, отражающий иерархическое соотношение отдельных, образовавшихся при развитии разрушения по схеме «сверху вниз», имеет четкое ограничение слева: предел раздробленности материала определяется точкой перегиба графика. Чем больше работы затрачивается на разрушение материала в данном процессе, тем точка левее и выше. Минимальные расстояния между трещинами отдельности в скальных обнажениях обычно составляют от нескольких десятков сантиметров до нескольких десятков метров. Количество трещин с расстояниями между ними порядка нескольких сантиметров или долей сантиметров резко сокращается или же такие трещины отсутствуют вовсе. Удельное количество трещин, приходящееся на единицу пространства (их плотность), определяется энергетическими возможностями процесса, вызвавшего разрушение.

Возникает вопрос: как в таком случае объяснить, что сетки микроскопических трещин отдельности вновь появляются в той же горной породе? Видимо, на микроуровне действуют процессы другой природы. Во всяком случае, график закона повторяемости не уходит прямолинейно в область микромира. В нем появляется «зигзаг» в области трещин с длиной порядка сантиметров и миллиметров.

<sup>11</sup> Кулюкин А. М., Пономарев В. С., Ромашов А. Н. Сейсмичность как процесс дробления // Прогноз землетрясений. № 4. Душанбе — Москва, 1984. С. 211—219.

Следуя логике изложения, можно предположить, что системы трещин отдельности, формирующие блоковую делимость земной коры, определяются не одним «трансмасштабным» процессом, а несколькими процессами разной природы, каждый из которых действует только в своей масштабной «епархии». При этом график закона повторяемости на границах масштабного определения разных процессов испытывает «изломы», «скачки», «провалы» или иные нарушения его прямолинейности. Исследования тонкой структуры эмпирических распределений вида  $\lg N(\lg l)$  показали, что такие «особые» точки, нарушающие монотонность закона повторяемости в определенном пространственном ритме, действительно существуют.

Можно привести и другие результаты модельных исследований разрушения энергетически активных сред, имеющие непосредственное отношение к ключевым проблемам геомеханики. Однако трудно вместить все это в одну статью.

---

В геологической литературе упоминания о различных явлениях, связанных с энергонасыщенностью геологической среды, встречаются часто. И все же изучению механического поведения энергонасыщенных сред посвящены немногие работы. В заключение, видимо, следует остановиться на причинах этого.

Во взгляде на природу сил, действующих в земной коре, имеются противоположные точки зрения, связанные с именами двух выдающихся отечественных геологов — В. И. Вернадского и М. М. Тетяева. Позиция первого сводится к тому, что земная кора

является самодовлеющим целым, обладает определенной организованностью, автаркией; процессы в ней начинаются и в ней кончаются<sup>12</sup>. Концептуальная установка второго, высказанная тогда же, в 30-е годы, прямо противоположна. Тетяев не признавал активности земной коры, рассматривая ее как пассивный субстрат, подверженный действию внешних по отношению к ней механических сил<sup>13</sup>.

Опыт развития науки — геологии в особенности — свидетельствует о том, что научная истина гораздо чаще проявляется в симбиозе крайностей, чем в их противостоянии. Тем не менее, разветвляясь множеством рукавов по обширнейшему тальвегу фактов, главное русло развития геологии часто как бы меандрирует между берегами полярных точек зрения<sup>14</sup>. Используя эту метафору, можно сказать, что в течение нескольких последних десятилетий главное русло представлений о природе тектонических сил протекало вплотную у коренного берега, очерченного Тетяевым. Именно поэтому множество фактов естественной энергонасыщенности горных пород, их способность к самостоятельным энергетическим преобразованиям остались вне основных тенденций развития геомеханики. Настоящую работу ее авторы расценивают как усилие, направленное на восстановление плодотворного равновесия между двумя концептуальными ветвями геотектоники.

---

<sup>12</sup> Вернадский В. И. Очерки геохимии. М., 1983.

<sup>13</sup> Тетяев М. М. Основы геотектоники. М.—Л., 1934.

<sup>14</sup> Нептунисты и вулканисты, униформисты и катастрофисты, фиксисты и мобилисты ... Взгляд на развитие геологии как на борьбу крайних мнений прекрасно освещен в кн.: Хеллем Э. Великие геологические споры. М., 1985.

# Кто завез песчаную ракушку в Европу?

К. Н. Несис,

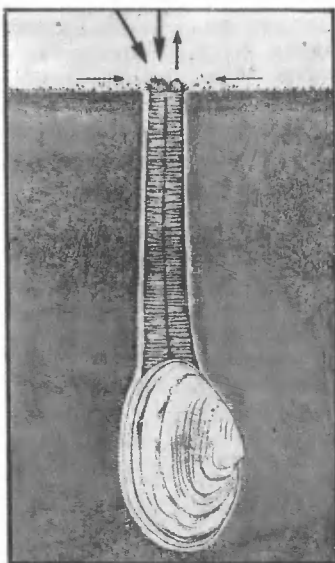
доктор биологических наук

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН  
Москва

**П**ЕСЧАНАЯ ракушка, или мия (*Mya arenaria*), — двусторчатый моллюск длиной 8–10 см, но может достигать и 12–15 см. Ныне он в изобилии населяет приливо-отливную полосу и прибрежные мелководья Северной и Западной Европы и Дальнего Востока. Кое-где мию издавна и в больших количествах добывают и употребляют в пищу, а также на наживку для рыбы (ее улов в 1990 г. только у атлантических берегов США и Канады составил 22,5 тыс. т).

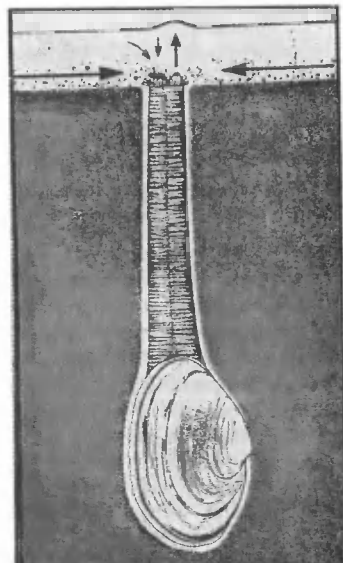
Живет этот моллюск на песчаных или илистых грунтах, нередко в опресненных районах близ устьев рек. Обычно он глубоко — до 40 и даже 80 см — закапывается в грунт передним концом вертикально вниз. Тело моллюска соединено с поверхностью двумя сросшимися трубками (сифонами), которые покрыты общим кожистым чехлом; через них он дышит, получает пищу и выбрасывает половые продукты. Взрослые мии очень малоподвижны.

В северо-западной части Тихого океана мия распространена от района Берингова пролива до Японии, Кореи и северного Китая (Желтое море), а в северо-восточной — до центральной Калифорнии; в Северной Атлантике — от Лабрадора до Северной Каролины и от Белого моря и побережья Мурманска до южной части Атлантического побережья Франции,



Песчаная ракушка *Mya arenaria* в прикизнениом положении; слева — в прилив, справа — в отлив. Стрелки показывают направление токов воды [по: Rasmussen E., 1973].

включая также почти все Балтийское море — до Финского залива. В последнее время мия активно расширяет свой ареал. Недавно она заселила атлантическое побережье Португалии и Испании до Гибралтара; найдена она кое-где в Средиземном море (у побережья Венеции, Мессины). В 1966 г. мия неожиданно появилась в Черном море у Одессы и вскоре широко засе-



лила мелководья северо-западной части моря от Крыма до Болгарии, образовав поселения с биомассой до 10 кг/м<sup>2</sup>. У западных берегов США мия появилась в XIX в.: около 1867 г. ее случайно завезли в Сан-Франциско с виргинскими устрицами с восточного побережья США. За последующие полвека она расселилась от канадской границы до залива Монтерей.

Палеонтологические данные<sup>1</sup> свидетельствуют, что пред-

<sup>1</sup> Strauch F. // Abhandl. Senckenberg. Naturforsch. Gesellschaft (Frankfurt am Main). 1972. N 531. S. 1—211; Кафанов А. И. // Морская биогеография. М., 1982. С. 134—176.

ки современной песчаной ракушки существовали в олигоцене, приблизительно 35 млн. лет назад, в северо-западной части Тихого океана (северная Япония — Сахалин). Вскоре они проникли в северо-восточную часть океана. Позднее, в среднем миоцене (около 15 млн. лет назад), возник современный вид *M. agaparia*. В конце миоцена мия впервые проникла из Тихого океана в северо-западную Атлантику через Берингов пролив и Арктику. Но основное переселение песчаной ракушки в Атлантику по этому маршруту произошло уже в плиоцене, около 3,5 млн. лет назад. В Атлантике *M. agaparia* быстро распространилась и по американским, и по европейским побережьям. Затем начался ледниковый период, и мия, как считают, полностью вымерла у побережий Европы и Калифорнии, но сохранилась у атлантических берегов США и Канады. Вновь в Европе она появилась только в XVI—XVII вв. Полагали, что ее завезли из Америки во второй половине XVI в. первые европейские путешественники<sup>2</sup>. Если это так, то расселение мии от Белого и Баренцева морей до Бискайского залива — дело совсем недавнего времени.

Однако датские исследователи, изучавшие полускопаемые раковины с мыса Скаген на берегу Каттегата в север-

ной Дании, установили, что возраст одной хорошо сохранившейся раковины песчаной ракушки 720 лет, т. е. жила она приблизительно в 1245—1295 гг. н. э.<sup>3</sup> Значит, мия появилась в Европе задолго до Колумба, Гудзона и Фробишера! По мнению датских ученых, определивших возраст этого экземпляра, мия могла быть завезена в Европу викингами, открывшими Америку около 1000 г. н. э.

Предположение, что песчаную ракушку завезли в Европу викинги, весьма экстравагантно. В нынешнее время морские организмы заносятся человеком в дальние страны в основном с балластной водой на судах. Вероятно, именно так завезли в Черное море и песчаную ракушку, и рапану с Дальнего Востока, и двусторчатого моллюска арку (*Scapharca inaequivalvis*) из юго-восточной Азии, и гребневика мнемисиса с восточного побережья США<sup>4</sup>, и множество других.

Хотя пелагическая личинка мии живет в толще воды недолго — около двух недель, однако молодой моллюск после метаморфоза бойко ползает по камням и водорослям и лишь через несколько месяцев, достигнув длины 9 мм, начинает

закапываться в грунт<sup>5</sup>. Сделать это в балластном танке судна, конечно, невозможно. Выходит, мия хорошо приспособлена к транспорту на современных океанских судах. Но ведь на драках викингов водяного балласта не было. И хотя взрослые мии очень устойчивы к неблагоприятным условиям и могут до пяти недель жить без воды, все же плаванья викингов из Америки в Европу продолжались куда дольше. К тому же викинги плыли не прямо, а с остановками в юго-западной Гренландии, Исландии и на Фарерских о-вах, но нигде в этих местах мия не водится.

Скорее всего, не завозили песчаную ракушку в Европу ни викинги, ни путешественники послеколумбовых времен, просто она где-то благополучно пережила ледниковый период, не оставив следов в ископаемых отложениях, а с началом интенсивного мореплавания, уже в новое время, начала бурно распространяться вдоль атлантических берегов Европы, благо эстуарии, где она процветает, наиболее удобны и для строительства морских портов.

Так что песчаную ракушку, вероятнее всего, расселил действительно человек, однако сделал это не сознательно, а сам того не ведая.

<sup>3</sup> Petersen K. S. et al. // Nature. 1992. V. 359. N 6397. P. 679.

<sup>4</sup> Виноградов М. Е., Шушкина Э. А. Нашествие чужеродца // Природа. 1993. № 9. С. 3—10.

<sup>5</sup> Muus B. J. // Medd. Danmarks Fiskeri-og Havunders. 1967. N. S., Bd. 5. N 1. P. 1—316; Rasmussen E. // Ophelia (Copenhagen). 1973. V. 11. P. 1—495.

<sup>2</sup> Hessland I. // Arkiv Zool. 1946. Bd. 37A. N B. S. 1—51.

# Оскудение рыбных богатств в Черном море

Т. С. Расс

Чтобы найти истину, каждый должен хоть раз в жизни освободиться от усвоенных им представлений и совершенно заново построить систему своих взглядов.

Декарт



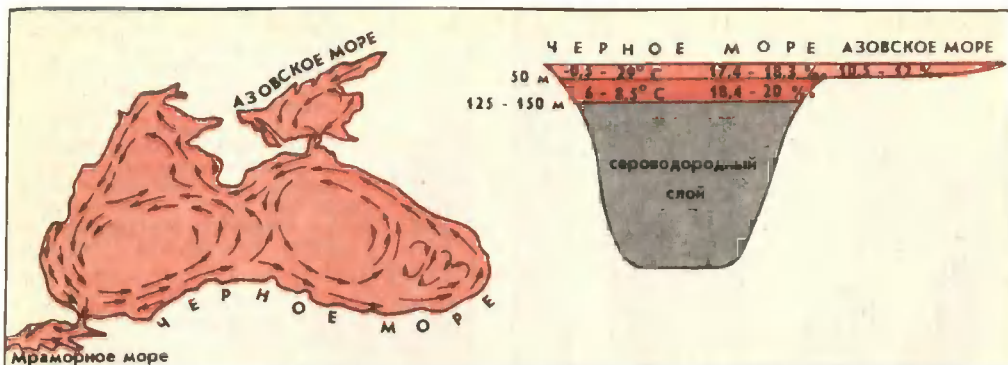
Теодор Саулович Расс, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, профессор, лауреат Государственной премии (1977). Основные научные интересы связаны с исследованиями ихтиопланктона, воспроизводства и развития рыб, биогеографии мирового рыболовства и антропогенных изменений рыбной продуктивности морей.

**РЫБНЫЕ БОГАТСТВА** Черного и Азовского морей известны с древнейших времен. Уже населявшие южные берега Крыма тавры на рубеже II—I тысячелетий до н. э. ловили рыбу и собирали моллюсков. Рыболовство было одним из главных занятий жителей греческой колонии Херсонес (существовавшей с V в. до н. э. до XIV в. н. э. в районе нынешнего Севастополя), а рыба — ценным продуктом питания, к тому же составлявшим важнейшую статью экспорта в метрополию. В Черном море (Понт Эвксинский) рыболовные хозяйства продвинулись на север до устья Днепра. Жители генуэзских колоний XIV—XV вв. Кафы (Феодосия) и Чембалы (Балаклава) за-

нимались рыболовством и заготавливали вяленую и соленую рыбу для экспорта. Еще больше рыбы добывали в Боспоре Киммерийском (Керченский пролив) и Меотийском озере (Азовское море). Крупные масштабы рыболовства обусловили развитие соляного промысла в соленых озерах вблизи Херсонеса. Соленая рыба вывозилась греками с промыслов Меотиды у рек Танаис (Дон) и Ромбит (Кубань?). Моря — Мраморное, Черное и Азовское — рассматривались как система, объединяемая в единое целое проливами Боспором Фракийским (Босфор) и Киммерийским: Мраморное как преддверие (Пропонтида) к Черному, а Азовское как примыкающее к нему с севера озеро.

В наше время рыбная продуктивность Черного и Азовского морей колебалась, то увеличиваясь, то уменьшаясь в несколько раз, кардинально менялся видовой состав уловов, причем объем вылова ценных видов падал. Состояние экосистемы и биологических ресурсов Азовского моря характеризуется сейчас как критическое, а Черного — как внушающее серьезную тревогу<sup>1</sup>. Сложившаяся ситуация считается большинством специалистов причерноморских стран результатом множественных антропогенных нарушений в экосистемах каждого из морей по отдельности, а не всей системы в целом. Такого же мнения придерживаются специалисты Генерального совета по рыболовству в Средиземном море Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО). Исходя из самостоятельности, обособленности Азовского, Черного и Мраморного морей вырабатываются меры, которые могли бы улучшить состояние эко-

<sup>1</sup> Воловик С. П., Макаров Э. В., Семенов А. Д. Состояние экосистемы и рыбных запасов Азовского моря, мероприятия по их охране // Проблемы изучения и рационального использования биологических ресурсов окраинных и внутренних морей СНГ. Ростов-на-Дону, 1992. С. 23—28.



Течения в поверхностном слое Черноморского региона (слева) и некоторые характеристики водных масс Черного и Азовского морей: границы слоев, температура и соленость.

систем и рыбных запасов. Но так ли уж обособлены упомянутые моря биогеографически, а если нет, какие из этого можно сделать выводы?

## ОСОБЕННОСТИ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Биогеографически Черное море — это основной водоем сложного солонатоводного морского проточного Черноморского региона, объединяющего Азовское, Черное и Мраморное моря, связанные между собой проливами, и принимающего сток крупных рек с севера. Этот морской регион существенно отличается от других морей Средиземноморского бассейна и отделен от них узким и длинным проливом Дарданеллы. Черноморский регион характеризуют своиственные умеренному климату сезонные колебания температуры воды, вплоть до зимнего ледостава на севере, и обусловленные большим стоком рек проточность и пониженная соленость. Подразделения этого бореально-субтропического региона — Азовское, Черное и Мраморное моря — имеют общую в основе промысловую ихтиофауну, содержащую всего около 200 видов рыб, тогда как в морях собственно Средиземного региона насчитывается 540 видов<sup>2</sup>. Особенности водных масс и ихтиофауны Черноморского региона отражают физико-географические характеристики предшествовавших этапов истории этого бассейна — опреснения

и осолонения, похолодания и потепления — в составе древних океанов Тетис и Паратетис, Понтического и Меотического морей Средиземноморско-Атлантического бассейна, которые сменяли друг друга в данной области Палеарктики.

Сложная структура и история региона определили современный состав ихтиофауны, сложившийся из фаун этих водоемов. Промысловые виды представляют собой компоненты разной экогеографической основы и разного генезиса: морские тепловодные и холодноводные, солонатоводные и пресноводно-морские виды.

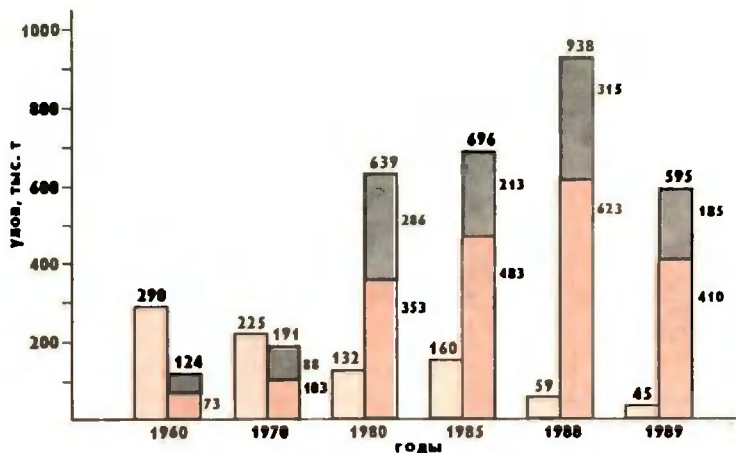
Тепловодная группа видов — это рыбы, произошедшие от субтропической средиземноморской ихтиофауны, вселившейся в послеледниковое время. Холодноводные — реликты бореально-атлантических видов, распространившихся на восток в ледниковое время. Солонатоводную группу составляют понто-каспийские реликты Понтического озера-моря, объединявшего Черное и Каспийское моря. Пресноводно-морская группа являет собой остатки пресноводной фауны верхнетретичного периода.

Именно физико-географические особенности Черноморского региона позволяют сосуществовать и достигать большой численности разным группам рыб в соответствующих их экологии районах, мигрировать через проливы из одних морей в другие при сезонных изменениях режима.

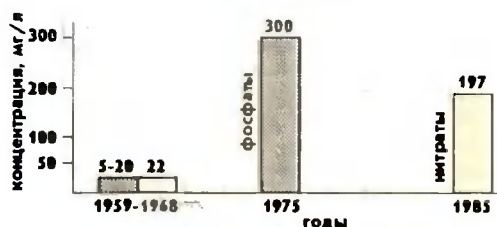
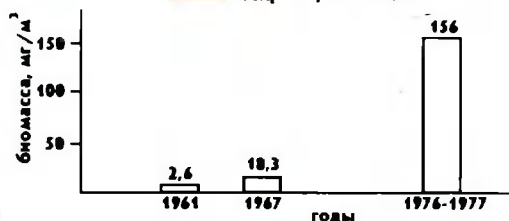
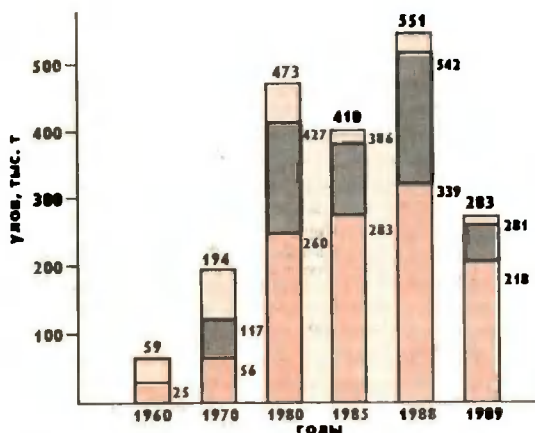
## МОРЕ РЕГИОНА

Каждое море Черноморского региона имеет свои особенности геоморфологии, солености, температуры, гидродинамики. Мелководное (до 13 м) Азовское море с соленостью 10—14<sup>0/00</sup> иногда называют солонатым черноморским заливом. Оно принимает сток около 20 малых и двух крупных рек — Дона и Кубани, через Керченский пролив происходит его водообмен

<sup>2</sup> Расс Т. С. Ихтиофауна Черного моря и некоторые этапы ее истории // Фауна черноморских бухт в условиях антропогенного воздействия. Киев, 1993. С. 6—16; Tortoroso E. // Ann. Mus. civ. Stor. Nat. 1963—1964. P. 156—185.



Общий улов рыб в Черноморском регионе (слева вверху) и улов хамсы (слева внизу), а также биомасса зоопланктона и количество биогенных соединений (справа). Приведены статистические данные Средиземноморского совета ФАО по рыболовству и Всесоюзного института морского рыбного хозяйства и океанографии (данные за 1990 г. не использованы, так как нуждаются в уточнении). См.: GFCM. Stat. bull. FAO. 1991. N 8.



с Черным морем и проходят миграционные пути рыб. Воды Азовского моря сильно прогреваются летом и покрываются льдом зимой. Оно очень богато кормовым для рыб бентосом, планктоном и мелкой рыбой. Постоянно обитают в Азовском море солоноватоводные понто-каспийские виды, эндемичны или выходят в Черное море несколько эвригалинных (способных переносить значительные изменения солёности вод) бореально-атлантических. Летом в Азовском море кормятся спустившиеся из рек пресноводно-морские проходные и полупроходные рыбы и те тепловодные виды средиземноморского генезиса, которые приходят из Черного моря.

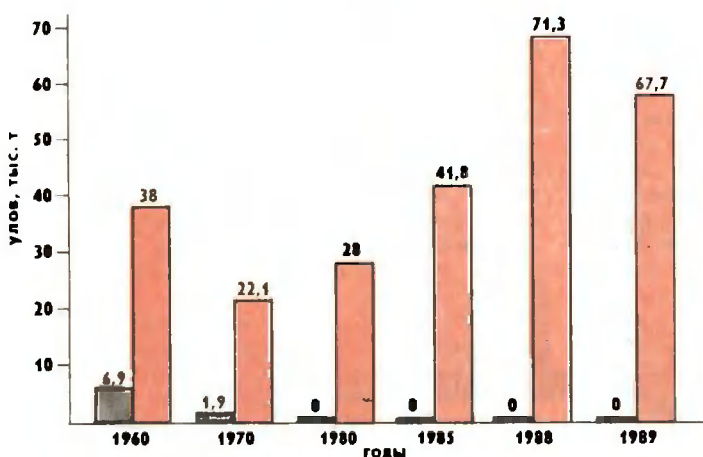
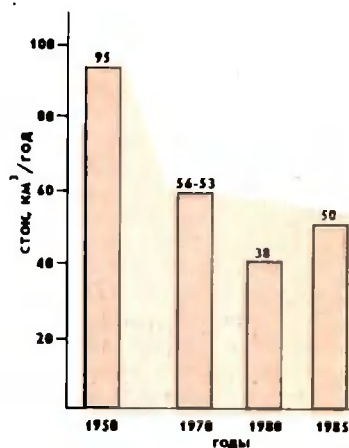
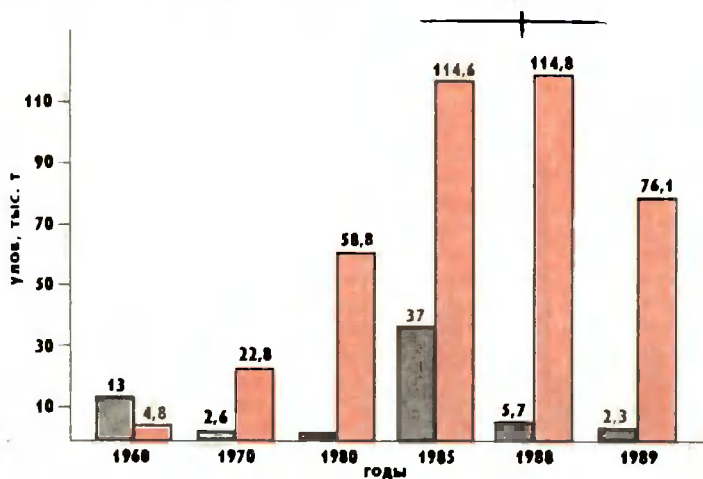
Собственно Черное море — самый большой и глубоководный водоем региона<sup>3</sup>.

Его средняя глубина 1315 м, а наибольшая — 2210. Солёность поверхностных вод открытой части Черного моря составляет 17,4—18,3 ‰, а у берегов снижается до 13—16 ‰ за счет стока крупных рек. Поверхностный слой всего моря опоясан вдоль берегов основным периферийным течением шириной 25—35 миль, по которому, в основном, и проходят миграции рыб.

Поверхностный слой (до 25—50 м) и внутренний различаются температурным режимом и фауной: первый прогревается летом в открытых частях моря до 24—25 °С и охлаждается зимой до 7—8 °С (на мелководьях и у берегов прогрев и охлаждение еще значительнее); внутренний же слой (от 25—50 м до границы глубинных сероводородных вод) в течение всего года сохраняет пониженную температуру — 6—8,5 °С.

Ихтиофауна прогреваемого поверхностного слоя Черного моря — это, в основ-

<sup>3</sup> Богуславский С. Г., Беляков Ю. М., Жорав В. А. Особенности гидрологического режима Черного моря // Основы биологической продуктивности Черного моря. Киев, 1979. С. 11—24.



Северные воды  
Южные воды

Уловы хищных рыб, совершающих миграции между Мраморным и Черным морями: ставриды (слева вверху), скумбрии, пеламиды и лугеры (слева внизу). Справа приведен сток из Азовского моря в Черное через Керченский пролив.

ном, субтропические рыбы средиземноморского происхождения, а в опресненной прибрежной зоне северо-западной части обитают и солоноватоводные понто-каспийские рыбы. Осенью из Азовского моря приходят на зимовку одни виды, а летом из Мраморного на кормежку — другие. Кормятся и растут в Черном море проходные пресноводно-морские рыбы, спустившиеся из Дуная, Днестра и Днепра, а также кубанские и донские виды, пришедшие через Азовское море.

В холодном внутреннем слое Черного моря постоянно живут бореальные виды атлантического генезиса, заходят кормиться крупные проходные рыбы, а также дельфины.

Мраморное море — самое теплое (температура поверхностного слоя 20—21°C) и соленое (19,4‰ у Босфора, 25,3‰ у Дарданелл) из морей Черноморского региона. Из 50 видов промысловых

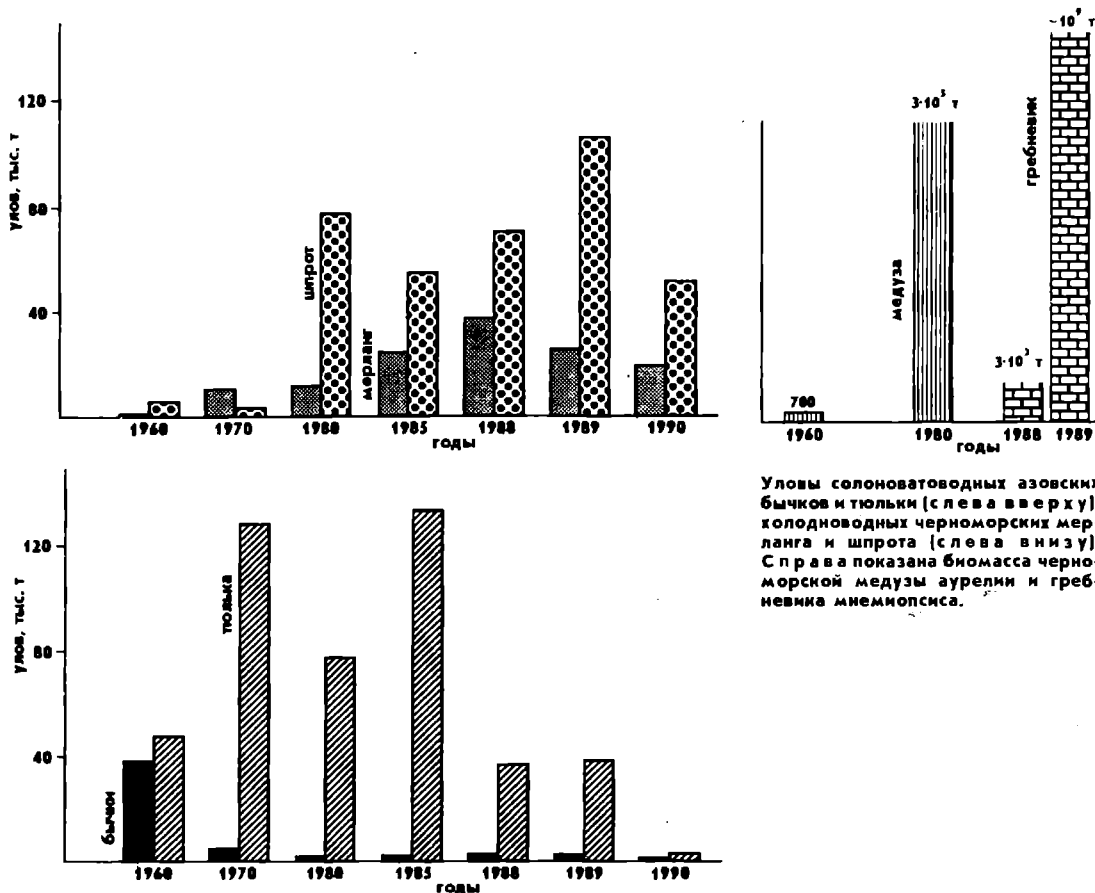
рыб Мраморного моря 37 добываются и в Черном, причем более 80 % всего их улова дают шесть общих видов — крупных хищников, зимующих в Мраморном море и выходящих весной кормиться в Черное.

#### РЫБОЛОВСТВО И ПРОМЫСЛОВАЯ ИХТИОФАУНА

В 1936—1938 гг. общий улов СССР, Болгарии, Румынии и Турции в Черном море составлял около 70—72 тыс. т, в 1960—1970 — от 73 до 104 тыс. т в год<sup>4</sup>. В Азовском море в эти же периоды добывалось 218—290 и 313—342 тыс. т соответственно<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Расс Т. С. Ихтиофауна Черного моря и ее использование // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. 1949. Т. 4. С. 103—123; Он же // Океанология. 1992. Т. 32. Вып. 2. С. 293—392.

<sup>5</sup> Зайдинер Ю. И., Ландарь Е. А., Ульянов И. Н. Статистические показатели добычи рыбы и нерыбных объектов в Азовском море // Проблемы изучения и рационального использования биологических ресурсов окраинных и внутренних морей СНГ. С. 59—61.



т. е. почти вчетверо больше, чем в Черном море, хотя площадь первого примерно в 10 раз меньше. Бассейн Азовского моря считался одним из самых продуктивных в Мировом океане<sup>6</sup>, так как вылов рыбы достигал здесь почти 8200 кг на 1 км<sup>2</sup>.

В следующие 30 лет ситуация изменилась. Черноморские уловы повысились к 1988 г. более чем в 10 раз, но через два года снизились вдвое, а в Азовском море — примерно в 30 раз. Чрезвычайно изменился состав уловов: основной стали мелкие малоценные рыбы, сократилось количество крупных ценных видов, скатывавшихся из рек и приходящих из Мраморного моря. Состояние экосистемы и биоресурсов Азовского и Черного морей крайне ухудшилось.

Колебания общего объема промысла в регионе в 80-х годах были обусловлены главным образом изменениями уловов азо-

во-черноморского анчоуса — хамсы, составлявших более половины всей добываемой рыбы (в 1960 г. — менее 20 %). Эта мелкая тепловодная рыба, питающаяся планктоном и дававшая большие уловы в Азовском море, представлена в регионе двумя подвидами — азовским и черноморским. Первый подвид только осенью уходит из своего моря в Черное — на зимовку, второй обитает в основном постоянно именно в Черном, в соседнее, Азовское, заходит нерегулярно и в разных количествах, иногда до трети численности<sup>7</sup>. Рост численности хамсы и ее уловов в Черном море связаны, видимо, с увеличением биомассы ее кормового планктона вследствие повысившегося выноса биогенных веществ (фосфатов, нитратов) реками и со снижением численности питающихся ею хищных рыб и дельфинов.

<sup>6</sup> Моисеев П. А. Биологические ресурсы Мирового океана. М., 1969.

<sup>7</sup> Данилевский Н. Н., Иванов Л. С., Каутиш И., Верноти-Маринеску Ф. Промысловые ресурсы // Основы биологической продуктивности Черного моря. С. 291—299.

К концу 80-х — началу 90-х годов снизились уловы обоих подвидов хамсы в северных водах, причем азовский подвид почти полностью исчез. Вероятно, это связано с сокращением стока через Керченский пролив: через него хамса и другие виды обычно переходили из одного моря в другое. В Азовское море перестали входить также тепловодные кефали, барабуля, сарган, атерина<sup>8</sup>. Постоянные обитатели Черного моря — придонные субтропические горбыли, губановые, скорпеновые, спаровые, серрановые, тригловые рыбы — вообще малочисленны, чтобы быть промысловыми.

Группу общих для Черного и Мраморного морей тепловодных промысловых рыб составляют ценные хищные мигранты: скумбрия, ставрида, пелагида, луфарь. Они зимуют и частично нерестятся в Мраморном море, а летом выходят в Черное, где кормятся и тоже нерестятся. С 70-х годов в северных водах Черного моря эти ценные хищники полностью исчезли из уловов: скумбрия, пелагида, луфарь вовсе перестали мигрировать весной к берегам Болгарии, Румынии и СССР, оставалась только ставрида, но и ее стало меньше. В то же время на юге уловы общих для Мраморного и Черного морей рыб сильно увеличились с 70-х годов, но немного понизились в конце 80-х.

До 70-х годов северно-западная часть периферийного черноморского течения усиливалась весенним стоком Дуная (составлявшим 60 % годового) и азовских рек через Керченский пролив, и весенние миграции рыб совершались, как обычно. Но позже на северных реках Черного и Азовского морей начали смещать весенний сток на летне-осеннее время, и хищные рыбы перестали мигрировать весной к северу, хотя их общая численность увеличилась.

К постоянно живущим во внутреннем слое Черного моря относятся бореально-атлантические холодноводные рыбы. Это многочисленные шпрот и мерланг, а также несколько видов с более низкой численностью (камбала, песчанка, акула-катран, скат-лисица). Промысел мерланга и шпрота в Черном море в 60—70-х годах был очень мал из-за их небольшой ценности. Снижение уловов ценных рыб стимулировало развитие специального промысла этих двух видов, и их уловы достигли в 80-е годы 100 тыс. т. Шпрот и мерланг, не выходящие за пределы внутреннего холодного слоя

и не совершающие миграций между водоемами региона, оказались в лучшем положении, чем мигранты, поскольку менее подвержены антропогенным воздействиям на среду обитания.

Солоноватоводная группа понто-каспийских видов — тюлька, атерина, бычки — обитают в распресненных прибрежных водах Черного моря, но особенно многочисленны в Азовском. Планктоноядная тюлька давала большие уловы в 70-х — первой половине 80-х годов, но в 1990 г. они резко упали. Промысел бентосоядных бычков снизился уже в 70-х годах, а в 80-х стал ничтожным. Снижение уловов тюльки последовало за массовым вселением в Азовское море медузы аурелии и гребневика мнемипсиса. Падению численности бычков способствовало, видимо, ухудшение аэрации, а также заиливание придонного слоя при эвтрофикации и сокращении речного стока.

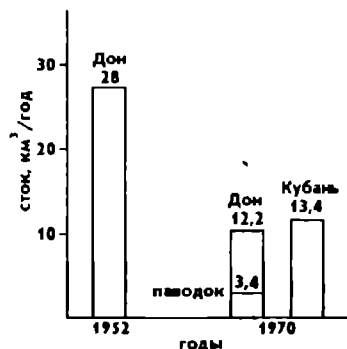
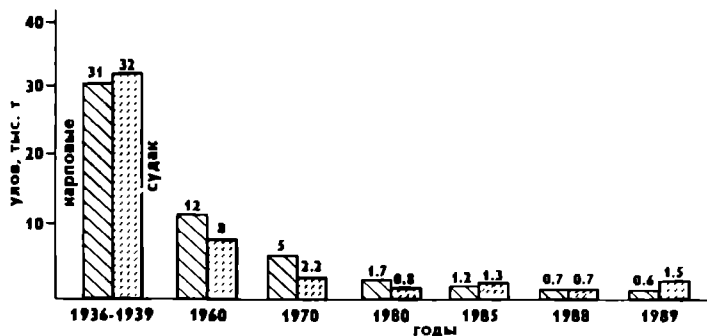
Самая ценная группа рыб — это мигранты, пресноводно-морские виды, которые нерестятся в реках и спускаются для откорма в моря. Проходные осетровые (осетр, севрюга, белуга), сельди и черноморский лосось — крупные хищники, питающиеся мелкой рыбой и бентосом и растущие в Черном и Азовском морях. Полупроходные бентосоядные, планктоноядные и хищные карповые, окуневые рыбы — лещ, тарань, сазан, шемая, чехонь, судак — кормятся и растут в Азовском море и приустьевых зонах Черного. Промысел этих мигрантов снизился в десятки раз, и только численность самых ценных рыб — осетровых — поддерживается очень трудоемким рыбоводством: из рыбозаводов ежегодно выпускают 30—35 млн. мальков.

Причина падения численности всей группы пресноводно-морских видов очевидна: уменьшение весеннего стока Дуная и рек, впадающих в Азовское море; ухудшение условий нереста в реках вследствие агротехнических мер; уменьшение стока через Керченский пролив, связанное с изменением режима Кубани. Все это осложнило миграции проходных и полупроходных рыб на нерест и их скат, лишив основных нерестилищ в реках.

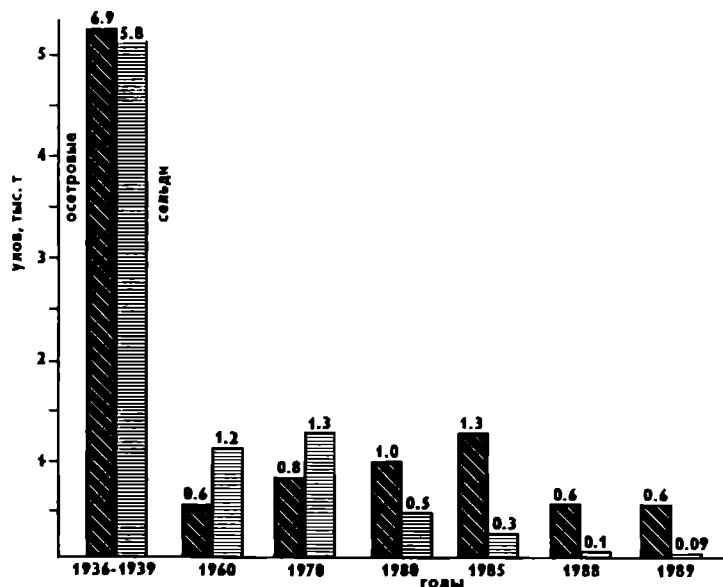
Основу питания хищных рыб и дельфинов в Черном море составляли мелкие, по существу фуражные, рыбы, главным образом хамса, шпрот, частично тюлька. Когда численность хищников понизилась, биомасса этих фуражных рыб сначала увеличилась, но затем упала из-за разрегулированности экосистемы.

Наряду с изменениями биомассы и соотношений компонентов промысловой их-

<sup>8</sup> Иванов Л. С., Костюченко В. А., Каутиш И. Питание и пищевые взаимоотношения // Основы биологической продуктивности Черного моря. С. 259—268.



Уловы пресноводно-морских мигрантов: полупроходных карповых рыб и судака (слева вверху), проходных — осетровых и сельдей (слева внизу). Справа показан сток рек Азовского моря.



тиофауны произошла также вспышка численности желетельных хищников: черноморской медузы и вселившегося из Северной Атлантики гребневика мнемииопсиса, пожиравших планктон и личинок рыб<sup>9</sup>.

### БИОРЕСУРСЫ И СРЕДА РЕГИОНА

Итак, в Черноморском регионе с 1960 по 1985 г. общий объем рыбного промысла увеличился вдвое, но в основном за счет хамсы, после чего к 1990 г. сократился втрое. Резко уменьшились численность ценных проходных и полупроходных рыб; солоноватоводных видов; мигрирующих через Керченский пролив черноморских и азовских рыб; почти перестали приходить в северные

черноморские воды крупные морские хищные виды из Мраморного моря.

Из произошедших изменений в среде обитания ихтиофауны назовем основные: загрязнение вод речным стоком, несущим с полей органические вещества, удобрения и пестициды, вызвавшее, однако, эвтрофикацию и увеличение биомассы кормового зоопланктона;

смещение основной части стока крупных северных рек региона с весны на лето—осень, повлекшее за собой ухудшение кислородного режима в придонном слое Азовского моря и нарушившее благотворное воздействие весеннего паводка на северо-западную часть периферийного черноморского течения, т. е. ту часть, где проходят миграционные пути пресноводно-морских и морских хищных рыб;

зарегулирование стока Кубани для водоснабжения рисовых чеков, сменивших

<sup>9</sup> Виноградов М. Е., Шушкина Э. А. Нашествие чужоморца // Природа. 1993. № 9. С. 3—11.

пшеничные поля в бассейне этой реки; это преобразование уменьшило сток из Азовского моря в Черное по Керченскому проливу — обычному пути миграций рыб.

Эвтрофикация водоема за счет сброса в него биогенов, как правило, вызывает увеличение биомассы начальных звеньев трофической цепи и зоопланктона, а затем — вспышку численности планктоноядных рыб. В придонном слое возникает недостаток кислорода, вызывающий заморы и заиливание грунтов. В Черноморском регионе эти процессы гипертрофированы, так как Азовское и Черное моря почти полностью лишились весеннего паводка, а их грунты оказались заиленными, загрязненными.

Весенний сток охлажденных вод паводка — необходимое условие жизненно важных миграций проходных и полупроходных рыб. После зарегулирования рек и смещения его на лето—осень он стал поступать в водохранилища, а оттуда в море, но уже в уменьшенном объеме и прогретым. Как следствие таких перемен нарушился гидрологический режим северо-западной и западной, Румелийской, части периферийного течения, идущей от крымского берега и предустьевого пространства Дуная на юг, к Босфору. Миграции рыб (скумбрии, пеламиды, луфаря) к берегам Румынии, Болгарии и СССР прекратились, прекратился и промысел мигрантов в этих странах. Но уловы на юге — в Турции — значительно увеличились.

Сток опресненных вод Азовского моря в Черное через Керченский пролив уменьшился за последние 30 лет почти вдвое: с 95 до 38—50 км<sup>3</sup> в год. В Азовское море стали в массовом количестве заходить медузы, которые погибали там и отравляли воды. С 1988 г. медузы сменили гребневники, еще более опасные для гидробионтов организмы, пожиравшие планктон и личинок.

Рисосяние и связанное с ним зарегулирование стока Кубани явилось экологической катастрофой. Рис на Кубани убил пшеничную ниву, багчи, сады, лучшие богарные земли; яды с полей дошли до моря и убили рыбу; на рисовых чеках размножилась серая крыса, распространяющая особо опасную форму лептоспироза; характер народного бедствия приняло пестицидное загрязнение Азово-Кубанского бассейна, где за последние 5 лет заболеваемость детей возросла в 6 раз<sup>10</sup>. В общем потери рыбного

хозяйства от забора воды для выращивания риса оказались больше, чем получаемые от него доходы.

## ВОЗМОЖНОСТИ ОЗДОРОВЛЕНИЯ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Современное состояние Черноморского региона угрожает превращением его в зону бедствия. Можно ли исправить создавшуюся ситуацию, неблагоприятную для населения прибрежных стран региона и привлекающую внимание международной общественности? Вряд ли удастся полностью исправить тот вред, который причинен экосистеме и рыбному хозяйству, да и всему региону в целом: реки перегорожены плотинами, созданы водохранилища, построены гидроэлектростанции. Трудно ожидать даже неполного восстановления рек, капитально измененных техническими преобразованиями. И все же оздоровление региона возможно, если его основывать на понимании особо опасных изменений экосистемы, учитывать интегральность Черноморского региона.

Наибольший вред ему наносится антропогенным воздействием, нарушающим взаимосвязанную гидродинамику входящих в него морей, являющуюся основой нормальной жизнедеятельности и соотношений разных экологических групп ихтиофауны.

Значение хищных рыб в экосистемах водоемов исключительно велико, так как они приводят в равновесие все звенья пищевой цепи. Питаясь мелкими видами и молодь рыб, хищники регулируют состав и численность всех видов рыб в водоеме, включая свою собственную. В Черноморском регионе количество хищников катастрофически сократилось.

Нарушение гидродинамики Керченского пролива, обусловленное преобразованием бассейна р. Кубани, тоже не осталось без последствий для Черноморского региона: численность мигрирующих азово-черноморских рыб упала и сократились запасы ценных рыб Азово-Кубанского района.

Именно эти причины экологических нарушений и нужно устранить, чтобы оздоровить регион. Обеспечить это еще можно.

Прежде всего нужно восстановить в полном объеме именно весенний паводок Дуная, Днепра и Днестра, а также Дона и Кубани.

Очень важно пополнить ихтиофауну Черного моря интродукцией хищника. Положительные примеры такого рода есть.

<sup>10</sup> Антонников А. Ф., Славская Н. Е. // Журн. рыбн. хоз-ва. 1992. № 3. С. 7—8; Карасева Н. // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1986. Вып. 6. С. 59—61.

В 40—60-х годах в Великих озерах Северной Америки в связи с эвтрофикацией сильно увеличилось количество мелких фуражных рыб, в то время как численность основного объекта промысла — хищной озерной форели — была подорвана чрезмерным выловом и нападением на форель вселившейся паразитической миноги. Созданное положение удалось исправить интродукцией хищного тихоокеанского кижуча, который там быстро размножился. Другой сходный пример — эстонское озеро Виртсъярв<sup>11</sup>. За счет чрезмерного вылова в нем снизились запасы хищных рыб — судака и щуки — и последовала вспышка численности мелких малоценных видов, которые составили более 3/4 улова. Чтобы восстановить его ценность, в озеро был вселен речной угорь, и 4/5 промысла стали давать крупные ценные рыбы.

Специалисты ФАО рассматривают возможность акклиматизации хищной рыбы в Черном море, но учитывают, что тихоокеанский кижуч, успешно сбалансировавший пищевые цепи и численность ценных рыб в оз. Мичиган, вряд ли может быть использован, так как выходит нереститься в реки<sup>12</sup>.

Для акклиматизации необходим какой-либо вид из морей близких по физико-географическим характеристикам и составу ихтиофауны. В этом отношении представляет интерес балтийская треска.

Черное и Балтийское моря во многом сходны: это полузамкнутые солоноватые моря, принимающие сток крупных рек, с морским климатом, свойственным умеренным широтам. И в том, и в другом водоеме физико-географические характеристики поверхностного и внутреннего (50—100 м) слоев различаются: верхний подвержен сезонным колебаниям температуры; температура и соленость вод внутреннего слоя меняются очень мало и в обоих морях довольно сходны (в Балтийском море температура 4—8,5 °C, соленость 14—18‰; в Черном 7,6—8,1 °C и 18,4—20,6‰). Биота этого слоя в открытых частях обоих морей содержит идентичные или близкие массовые виды рыб и беспозвоночных, представляющих реликты бореально-атлантической фауны, в ледниковое время непрерывно распространенной от Балтийского моря до Черного, но позже разобщенной измене-

ниями климата. В ихтиофауне внутреннего слоя обоих морей около 20 общих видов, представленных идентичными номинальными формами или подвидами. Таковы: черноморский и балтийский шпрот, мерланг, скумбрия, камбалы (калкан, ромб и речная), сарган, а также атлантический осетр, сельдь-финта, балтийский и черноморский лососи и др.

Однако трески в Черном море нет, хотя при сходных с черноморскими условиях среды и составе биоты она обитает в Балтийском море и достигает там высокой численности.

Еще в 1965 г. нами была высказана идея интродукции в Черное море именно балтийской трески как морской хищной рыбы, способной акклиматизироваться и натурализоваться в этом водоеме<sup>13</sup>. Были выполнены эксперименты, показавшие, что икра и личинки трески хорошо развиваются в черноморской воде при температуре 6—8 °C, свойственной внутреннему холодному слою. Мальки и молодь балтийской трески жили в аквариуме Института биологии южных морей АН Украины вместе с черноморскими рыбами при температуре до 10—13 °C более года (1987—1989 гг.). Таким образом, судя по экспериментальным данным, балтийская треска может жить в Черном море, и потому ее интродукция с последующей натурализацией в холодном внутреннем слое представляется целесообразной<sup>14</sup>. Дополнительный аргумент в пользу интродукции трески в Черное море — ее рацион: в него входят гребневники. Она может оказаться полезной в борьбе с этим вреднейшим вселенцем Черного моря<sup>15</sup>.

И, наконец, последнее — обязательно восстановить прежнее, пшеничное хозяйство на Кубань и исключить рисосеяние.

Нужно признать ошибки, совершенные при преобразовании природы Черноморского региона, и найти силы и средства для оздоровления этого прекрасного края.

<sup>11</sup> Попова О. А. Реакция хищных рыб на изменение условий обитания под влиянием деятельности человека // Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М., 1982. С. 146—160.

<sup>12</sup> Caddy J. P., Griffiths R. C. // *Stady and reviews*. GFCM. 1990. N 63. P. 43—71.

<sup>13</sup> Расс Т. С. Рыбные ресурсы европейских морей СССР и возможности их пополнения акклиматизацией. М., 1965.

<sup>14</sup> Расс Т. С., Шиганова Т. А. // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1990. Т. 95. Вып. 2. С. 45—51.

<sup>15</sup> Новикова Н. С. О роли гребневиков в питании баренцево-морских трески и пикши // Питание рыб Баренцева моря. Тр. Мурманского морс. биол. ин-та. 1986. Вып. 7. С. 61—67.

# Черные дыры и искривление времени: дерзкое наследие Эйнштейна\*

К. С. Торн

## ОППЕНГЕЙМЕР

В Калифорнии Роберт Оппенгеймер (коллега Фритца Цвики по физическому факультету, впоследствии возглавивший американский проект создания атомной бомбы) имел обыкновение внимательно прочитывать каждую новую статью, опубликованную Ландау. И потому работа Ландау о нейтронных сердцевинах в февральском выпуске «Nature» сразу же привлекла его внимание. Идеи Цвики о нейтронных звездах как источнике энергии были лишь абстрактными, умозрительными, сырыми рассуждениями. Нейтронные же сердцевины Ландау как носители энергии обычных звезд заслуживали самого пристального внимания. Может ли Солнце иметь такую сердцевину? Оппенгеймер пообещал себе ответить на этот вопрос.

Стиль исследования Оппенгеймера в корне отличался от того, с чем мы уже сталкивались в этой книге. Если Бааде и Цвики работали вместе как равноправные коллеги и их талант и знания взаимодополняли друг друга, а Чандрасекхар и Эйнштейн работали в основном в одиночестве, то Оппенгеймер с энтузиазмом работал в окружении большого числа студентов. И если Эйнштейн страдал, когда ему приходилось преподавать, то Оппенгеймер расцветал, обучая других.

Как и Ландау, Оппенгеймер ездил для обучения в Западную Европу — Мекку теоретической физики — и, как и Ландау, Оппенгеймер после возвращения домой, старался перенести теоретическую физику из Европы в свою родную страну.

Ко времени возвращения в Америку Оппенгеймер успел приобрести столь громкую репутацию, что получил приглашение на преподавательскую работу от десятка американских университетов, включая Гарвард и Калтех, а также двух европейских. Одно из этих предложений исходило от Калифорнийского университета в Беркли, где теоретической физики не было совсем. «Я побывал в Беркли, — вспоминал потом Оппенгей-

мер, — и подумал, что хотел бы остаться здесь, потому что это настоящая пустыня». В Беркли он мог создать нечто совершенно свое. Однако, опасаясь последствий интеллектуальной изоляции, Оппенгеймер принял сразу два предложения — Беркли и Калтех. Осень и зиму он будет проводить в Беркли, а весну — в Калтехе. «Я поддерживал связь с Калтехом. ...Это было место, где я мог бы проверять, не слишком ли я оторвался от земли, и мог бы узнавать о вещах, не нашедших адекватного отражения в литературе».

Поначалу Оппенгеймер как преподаватель слишком спешил, был нетерпелив, излишне требователен к студентам. Он не понимал, как мало они еще знают, не мог опуститься до их уровня. Его первая лекция в Калтехе весной 1930 г. была демонстрацией силы — мощная, элегантная, глубокая. По окончании лекции, когда зал опустел, оставшийся в аудитории Толман (химик, ставший физиком, близкий друг Оппенгеймера) вернул его на землю: «Ну хорошо, Роберт, — сказал он, — это было прекрасно, но, черт возьми, я не понял ни слова».

Но Оппенгеймер быстро учился. Уже в первый год аспиранты и постдоки со всей Америки стали стекаться в Беркли, чтобы изучать физику под его руководством, а еще через несколько лет он превратил Беркли в место, даже более предпочтительное для стажировки молодых физиков-теоретиков, чем Европа.

Один из постдоков Оппенгеймера, Роберт Сербер, потом так описывал их манеру совместной работы: «Оппи (под таким прозвищем Оппенгеймер был известен среди студентов Калтеха) был быстр, нетерпелив, обладал острым языком, и первое время имел репутацию преподавателя, терроризировавшего студентов. Но спустя пять лет, приобретя некоторый опыт, он смягчился (если верить его первым студентам). Его курс [квантовой механики] был настоящим достижением в области преподавания. Он передал своим студентам ощущение красоты логических построений физики и озабоченность ее дальнейшим развитием. Почти все прослушали его курс более одного раза, и Оппи иногда было трудно отго-

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

\* Продолжение. Начало см.: Природа. 1994. № 1, 2.

ворить студентов приходило в третий или четвертый раз...»

Способ работы Оппи со студентами был довольно оригинален. В его группу входили от 8 до 10 аспирантов и примерно полдюжины постдоков. Он встречался с ними один раз в день в своем кабинете. Незадолго до назначенного времени члены группы набивались в кабинет и рассаживались на столах, стульях или просто вдоль стен. Входил Оппи и последовательно с каждым обсуждал его задачу исследований, в то время как другие внимательно слушали и давали свои комментарии. Все были вовлечены в широкий круг тем. Оппенгеймер интересовался буквально всем; предлагались все новые и новые предметы исследования, параллельно сосуществующие со всеми остальными. В течение такой встречи они могли обсуждать электродинамику, космические лучи, астрофизику или ядерную физику».

Каждую весну Оппенгеймер набивал свой открытый автомобиль книгами и бумагами, сажал нескольких учеников на откидные сиденья и переправлялся в Пасадену. «Мы ни о чем не волновались, оставляя наши дома и квартиры в Беркли, — рассказывал Сербер, — уверенные, что всегда сможем найти коттедж с садом в Пасадене за двадцать пять долларов в месяц».

Для каждой заинтересовавшей его задачи Оппенгеймер выбирал аспиранта или постдока, который должен был детально в ней разобраться. Для решения проблемы Ландау — вопроса о том, может ли нейтронная звезда поддерживать горячим наше Солнце, он выбрал Сербера.

Оппенгеймер и Сербер быстро поняли, что если бы в центре Солнца располагалась нейтронная сердцевина и если бы ее масса составляла большую часть массы Солнца, то мощная гравитация этой сердцевины притягивала бы внешние слои гораздо сильнее, делая размеры Солнца гораздо меньше, чем есть на самом деле. Поэтому идея Ландау о нейтронных сердцевинах могла бы работать только для сердцевины, гораздо более массивных, чем Солнце.

«Насколько мала может быть масса нейтронной сердцевины?» Такой вопрос были вынуждены задать себе Оппенгеймер и Сербер. «Какова минимально возможная масса нейтронной сердцевины?» [Обратите внимание, что этот вопрос является противоположным по отношению к вопросу, критическому для существования черных дыр; чтобы знать, может ли образоваться черная дыра, требуется знать максимальную массу черной дыры. Хотя Оппенгеймер

еще не проникся важностью вопроса о максимальной массе, однако теперь он знал, что вопрос о минимуме массы нейтронной сердцевины — центральный для идеи Ландау.]

В своей статье Ландау, также понимавший важность минимальной массы нейтронной сердцевины, использовал физические законы, чтобы оценить ее. Оппенгеймер с Сербером тщательно проверили оценку Ландау. Они убедились, что действительно Ландау верно учел силы гравитационного притяжения внутри сердцевины. Также правильно он принял в расчет и вырожденное давление нейтронов сердцевины (давление, порождаемое клаустрофобическим движением нейтронов, стиснутых в крошечных ячейках). Но он неверно учел ядерные силы, с которыми нейтроны действуют друг на друга. Эти силы тогда еще не были вполне понятны, однако уже того уровня понимания было достаточно, чтобы Оппенгеймер и Сербер пришли к заключению, что, вероятно, (не абсолютно точно, но вероятно) не может существовать нейтронной сердцевины легче, чем  $1/10$  массы Солнца. Если бы природе когда-либо удалось собрать нейтроны в ядро легче этой величины, его гравитация оказалась бы слишком слабой, чтобы удержать их вместе, внутреннее давление привело бы к взрыву.

На первый взгляд, это не отвергало того, что Солнце содержит внутри нейтронную сердцевину; сердцевина в  $1/10$  солнечной массы, которая допускалась оценками Оппенгеймера и Сербера, все же была достаточно легкой, чтобы спрятаться внутри Солнца, не меняя существенно его поверхностные свойства (не изменяя то, что мы видим). Однако дальнейшие вычисления, учитывающие баланс между притяжением гравитации сердцевины и давлением окружающего газа, показали, что эффекты, порождаемые такой сердцевиной, не спрятались. Вокруг нее будет располагаться оболочка из вещества, подобного веществу белого карлика массой примерно в одну солнечную, и вокруг такой оболочки — лишь малая часть нормального газа; в результате Солнце не могло бы выглядеть таким, каким мы его в действительности наблюдаем. Поэтому Солнце не может содержать внутри нейтронную сердцевину, и энергия, поддерживающая его жар, должна поступать откуда-то еще.

Откуда же? В то время, когда Оппенгеймер и Сербер проводили свои вычисления в Беркли, Ганс Бете в Корнеллском университете в Итаке (штат Нью-Йорк) и Чарльз Критчфилд в Университете Джорд-

жа Вашингтона в Вашингтоне (округ Колумбия) использовали разработанные незадолго до того законы ядерной физики с целью аккуратно показать, что ядерное горение (термоядерный синтез) может поддерживать горячими Солнце и другие звезды. Эддингтон был прав, а Ландау — нет (по крайней мере, в отношении Солнца и многих других звезд). [Однако с позиций начала 90-х годов оказалось, что к некоторой части гигантских звезд в действительности может быть применим механизм Ландау.]

Оппенгеймер и Сербер, конечно, не подозревали, что работа Ландау была отчаянной попыткой избежать тюрьмы, а возможно, и смерти. Потому 1 сентября 1938 г., когда Ландау томился в Бутырской тюрьме, они отправили критическую статью в «Physical Review». Поскольку Ландау был достаточно крупным ученым, чтобы можно было делать против него резкие выпады, они писали достаточно дружелюбно: «Оценки Ландау приводят к величине в 0,001 солнечной массы для предельной [минимальной] массы [нейтронной сердцевин]. Эта оценка оказывается неверной... [Ядерные силы] которые, как часто полагают, имеют тип спинowego обмена, предотвращают существование [нейтронных] сердцевин для звезд с массами, сравнимыми с массой Солнца».

Нейтронные сердцевин Ландау и нейтронные звезды Цвики — в действительности одно и то же. Нейтронная сердцевина — это не что иное, как нейтронная звезда, каким-то образом оказавшаяся внутри обычной звезды. Это становилось ясным Оппенгеймеру, и теперь, начав думать о нейтронных звездах, он неуклонно стал подступать к проблеме, за решение которой должен был (но не смог) приняться Цвики. Какова же дальнейшая судьба массивных звезд, когда они истощают ядерное горючее, которое, согласно Бете и Критчфилду, поддерживает их горячими? Какие останки при этом создаются: белые карлики? Нейтронные звезды? Черные дыры? Что-то иное?

Вычисления Чандрасекара неопровержимо показали, что звезды, менее тяжелые, чем 1,4 солнечной массы, должны стать белыми карликами. Цвики утверждал, что по крайней мере некоторые звезды, более массивные, чем 1,4 Солнца, взрываются, формируя нейтронную звезду, порождая в этом процессе сверхновую. Был ли Цвики прав? И все ли массивные звезды умирают таким образом, избавляя в результате Вселенную от черных дыр?

Одним из сильных мест в рассужде-

ниях Оппенгеймера как теоретика была способность, рассматривая сложную проблему, безошибочно отсекал сложности, с тем чтобы найти центральное звено, определяющее все. Несколько лет спустя этот талант сможет найти блестящее воплощение, когда Оппенгеймер станет руководителем американского проекта создания атомной бомбы. Теперь же, в борьбе за понимание характера смерти звезд, этот талант подсказывал ему отбросить все нагроможденные Цвики сложности: детали взрыва сверхновых, трансформацию обычного вещества в нейтронное вещество, высвобождение огромной энергии и, возможно, источник энергии сверхновых и космических лучей. Все это было неважно для ответа на вопрос о финальной судьбе звезды. Единственное, что было важно, — определить, какую максимальную массу может иметь нейтронная звезда. Если эта масса может быть любой, то черные дыры не образуются никогда. Если же существует максимально возможная масса нейтронной звезды, то звезда, имеющая массу больше максимальной, умирая, могла бы образовывать черную дыру.

С предельной ясностью поставив вопрос о максимальной массе нейтронной звезды, Оппенгеймер методично и четко приступил к его решению. И, как у него это вошло в практику, работал в сотрудничестве с учеником, в данном случае — с молодым человеком по имени Георгий Волков (русский, эмигрировавший из России в 1924 г.). Несмотря на слабое знание ядерных сил, Оппенгеймер и Волков смогли определенно показать, что существует максимальная масса нейтронных звезд, и она лежит в пределах между половиной и несколькими солнечными массами.

В 90-х годах, после 50 лет дополнительного изучения, мы знаем, что Волков и Оппенгеймер были правы; нейтронные звезды действительно имеют предел массы, и он лежит между 1,5 и 3 солнечными массами, тот же интервал, что и в оценках Волкова и Оппенгеймера. Более того, с 1967 г. астрономы обнаружили сотни нейтронных звезд, массы некоторых из них были измерены с большой точностью. Все измеренные массы были близки к 1,4 солнечной.

Заключение Оппенгеймера и Волкова не могло удовлетворить таких людей, как Эддингтон и Эйнштейн, предавших черные дыры анафеме. Если верить Чандрасекару (а к 1938 г. большинство астрономов пришли к пониманию того, что ему следует верить) и если верить Волкову и Оппенгеймеру (а их трудно было опровергнуть),

то ни в склепе белого карлика, ни в склепе нейтронной звезды массивная звезда упокоиться не может. Но есть ли вообще для тяжелой звезды какой-нибудь мыслимый способ избежать смерти в виде черной дыры? Да, есть, и даже два.

Во-первых, все массивные звезды, старея, могут терять так много вещества (например, срываемого мощными потоками излучения с их поверхности или при ядерных взрывах), что сокращаются до массы ниже предела 1,4 солнечной массы и способны попасть на кладбище белых карликов или (если кто-то верит в механизм сверхновых Цвики, а таких было мало) могут сбросить такое количество вещества в процессе взрыва сверхновой, что сократятся до такой величины, что рухнут в могилу нейтронной звезды. Большинство астрономов в 40-х, 50-х и начале 60-х годов (если вообще задумывались на эту тему) разделяли подобную точку зрения.

Во-вторых, кроме кладбища белых карликов, нейтронных звезд и черных дыр у массивных звезд могло бы существовать какое-нибудь четвертое кладбище, неизвестное в 30-х годах. Например, можно себе представить такое кладбище при промежуточной величине окружности между белыми карликами и нейтронными звездами, т. е. примерно 1000 км в окружности. Сжатие звезды могло бы тогда превратиться на таком кладбище еще до того, как звезда станет настолько малой, чтобы образовывать нейтронную звезду или черную дыру.

Если бы делу не помешали вторая мировая война и последовавшая за ней холодная война, Оппенгеймер со своими учениками или еще кто-нибудь, скорее всего, исследовали бы эту возможность и строго показали бы, что такого четвертого кладбища нет.

Однако вторая мировая война разразилась и поглотила энергию почти всех физиков-теоретиков мирового уровня; затем, после войны, разрушительные программы создания водородных бомб опять отодвинули сроки возвращения физиков к нормальным исследованиям.

Наконец, в середине 50-х годов, два физика, оставив свою работу в проектах по созданию водородной бомбы, обратились к тому, на чем остановились Оппенгеймер и его ученики. Это были Джон Арчибальд Уиллер из Принстонского университета в Соединенных Штатах и Яков Борисович Зельдович в Институте прикладной математики в Москве — два выдающихся физика, которые будут главными фигурами в дальнейшем изложении.

## УИЛЛЕР

В марте 1956 г. Уиллер несколько дней посвятил изучению статей Чандрасекхара, Ландау, Оппенгеймера и Волкова. Он понял, что здесь еще оставалась загадка, которую стоило попробовать решить. Действительно ли у звезды, более массивной, чем 1,4 Солнца, нет после смерти другого выбора, чем образовать черную дыру? «Из всех выводов общей теории относительности, касающихся структуры и эволюции Вселенной, этот вопрос о судьбе огромных масс вещества является наиболее интригующим», — писал вскоре после этого Уиллер; и он взялся закончить начатое Чандрасекхаром, Оппенгеймером и Волковым исследование звездных гробниц.

Чтобы уточнить стоящую перед ним задачу, Уиллер дал аккуратную характеристику типа вещества, из которого должны быть сделаны ожившие, мертвые звезды. Он назвал его веществом в конце термоядерной эволюции, поскольку слово «термоядерный» приобрело популярность для обозначения реакций синтеза, дающих энергию ядерному горению в звезде и водородной бомбе. Такое вещество должно было бы быть абсолютно холодным, с полностью выработанным ядерным горючим, так что больше не осталось бы способа извлечь дополнительную энергию из его ядер. Поэтому здесь будет использоваться название «холодное, мертвое вещество», вместо слов «вещество в конце термоядерной эволюции».

Уиллер поставил перед собой задачу понять все объекты, которые могут быть сделаны из холодного, мертвого вещества. Это могут быть малые объекты типа железных шариков, более тяжелые объекты, такие как мертвые планеты, сделанные из железа, и еще более тяжелые: белые карлики, нейтронные звезды и какие-то другие типы холодных и мертвых объектов, допускаемых законами физики. Уиллер хотел получить полный каталог холодных, мертвых вещей.

Уиллер работал во многом подобно Оппенгеймеру — в окружении аспирантов и постдоков. Среди них для работы над деталями уравнения состояния холодного, мертвого вещества, он выделил Б. Кента Харрисона, сурового мормона из Юты. Уравнение состояния позволило бы детально описать, как возрастает давление вещества, если последовательно сжимать его до все больших и больших плотностей, или, что то же самое, как сопротивление сжатию изменяется с увеличением плотности.

Уиллер был прекрасно подготовлен к тому, чтобы дать направление вычислениям Харрисона уравнения состояния холодного, мертвого вещества, поскольку был крупнейшим экспертом в области законов физики, управляющих структурой материи, законов квантовой механики и ядерной физики. В течение предшествующих 20 лет он создал мощную математическую модель, описывающую поведение атомных ядер; вместе с Нильсом Бором он разработал законы атомного распада (деление на части тяжелых атомных ядер, таких как уран и плутоний, лежащее в основе атомной бомбы); он был также руководителем группы, разработавшей американскую водородную бомбу. Опираясь на свой опыт, он помог Харрисону обойти все трудности анализа.

Результатом их анализа стало уравнение состояния холодного, мертвого вещества. При плотностях белых карликов это было то же уравнение состояния, что и использованное Чандрасекхаром (глава 4); при плотностях нейтронной звезды оно совпадало с результатом Оппенгеймера и Волкова; при плотностях ниже плотности белых карликов и в промежутке между белыми карликами и нейтронными звездами оно было совершенно новым.

Имея в руках это уравнение состояния холодного, мертвого вещества, Джон Уиллер попросил Масами Вакано, постдока из Японии, проделать то же, что сделал для нейтронных звезд Волков, а для белых карликов — Чандрасекхар: соединить уравнения состояния с уравнениями общей теории относительности, описывающими баланс гравитации и давления внутри звезды, и из этого соединения получить дифференциальное уравнение, описывающее структуру звезды, а затем численно решить это дифференциальное уравнение. Численные расчеты раскроют детали внутренней структуры всех холодных, мертвых звезд и, что самое важное, определят звездные массы.

Вычисления структуры отдельной звезды (распределение энергии, давления и гравитации внутри звезды) потребовали от Чандрасекхара и Волкова многодневного напряженного труда, когда в 30-х годах они были по кнопкам своих механических калькуляторов в Кембридже и Беркли. Тогда как Вакано в Принстоне в 50-х имел в своем распоряжении один из первых в мире цифровых компьютеров «MANIAC» (комнату, набитую электронными лампами и проводами), который был сооружен в Принстонском институте передовых исследований для использования при создании водородной бомбы. С помощью «MANIAC» Вакано мог «пере-

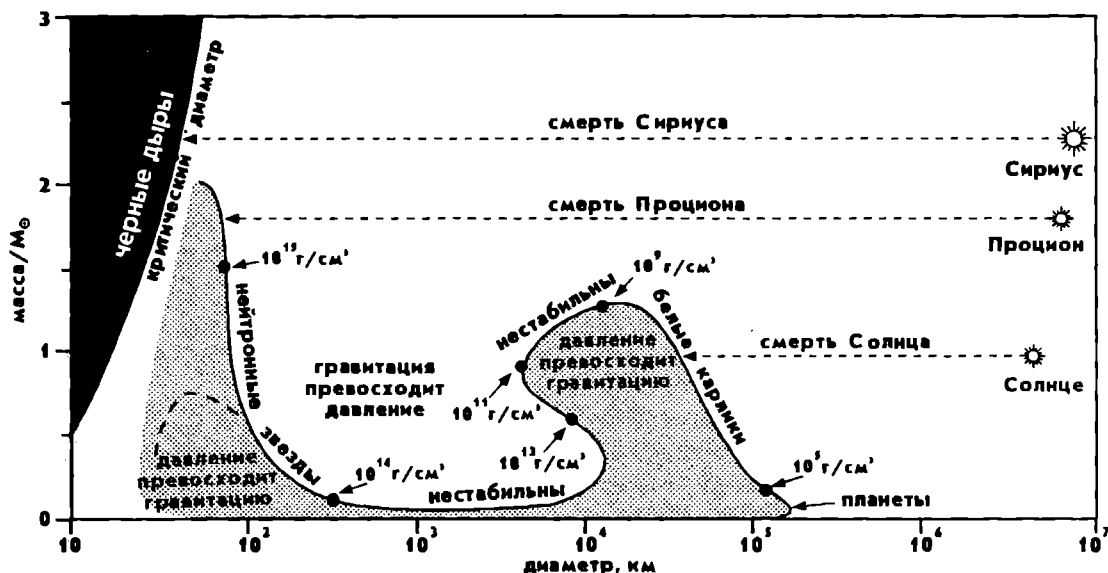
малывать» расчеты структуры каждого типа звезд менее чем за час.

Результаты вычислений Вакано показаны на рисунке. Он представляет собой окончательный каталог холодных, мертвых объектов и отвечает на все вопросы, поднимавшиеся ранее в этой главе.

На диаграмме окружность звезды отложена по оси вправо, а ее масса — вверх. Каждая звезда с окружностью и массой, попадающими в светлую область рисунка, имеет силы внутренней гравитации, превышающие давление, и потому гравитация звезды будет заставлять звезду сжиматься и перемещаться влево на этой диаграмме. Каждая звезда в заштрихованной области имеет давление, превосходящее гравитацию, и поэтому ее давление будет заставлять звезду расширяться при движении по диаграмме вправо. Лишь на границе между заштрихованной и светлой областями гравитация и давление точно уравновешиваются, и таким образом граничная кривая представляет собой кривую холодных, мертвых звезд в состоянии равновесия давления и гравитации.

Начав двигаться вдоль кривой равновесия, мы будем последовательно проходить мертвые «звезды» все более высокой плотности. При наименьших плотностях (в нижней части рисунка) эти «звезды» — вовсе и не звезды, а холодные планеты из железа. (Когда Юпитер окончательно исчерпает свой внутренний источник радиоактивного тепла и остынет, хотя он и построен в основном из водорода, а не из железа, он будет тем не менее располагаться вблизи самой правой точки на кривой равновесия.) При более высоких плотностях, чем у планет, находятся белые карлики Чандрасекхара.

Если, достигнув самой верхней точки кривой в области белых карликов (предел Чандрасекхара в 1,4 Солнца), начать затем двигаться в сторону еще больших плотностей, то мы неминуемо столкнемся с холодными, мертвыми звездами, которые не могут существовать в природе, потому что они нестабильны по отношению к взрыву или схлопыванию. При движении от плотностей белых карликов к большим плотностям нейтронных звезд масса этих нестабильных звезд будет уменьшаться, пока не достигнет минимума, примерно равного 0,1 солнечной массы, при окружности 1000 км и центральной плотности  $3 \cdot 10^{13}$  г/см<sup>3</sup>. Это первая нейтронная звезда, та «нейтронная сердцевина», которую изучали Оппенгеймер и Сербер, показав, что она не может быть легкой сердцевиной



Окружности (по горизонтали), массы (по вертикали) и плотности (обозначены на кривой) в центре холодных, мертвых звезд в соответствии с расчетами М. Вакано, сделанными под руководством Дж. Уиллера с использованием уравнения состояния. Сплошная линия — современная кривая, полученная по данным 90-х годов и правильно учитывающая ядерные силы, т. е. при центральных плотностях, превышающих плотность атомного ядра [больше  $2 \times 10^{15}$  г/см<sup>3</sup>], пунктирная линия — кривая, полученная Оппенгеймером и Волковым без учета ядерных сил.

Солнца весом 0,001 его массы, как это хотел Ландау.

Двигаясь вдоль кривой равновесия, мы встретимся со всем семейством нейтронных звезд, массы которых изменяются в пределах от 0,1 до 2 солнечных. Максимальная масса нейтронной звезды, равная примерно двум солнечным, все еще остается не совсем определенной, даже в 90-х годах, поскольку поведение ядерных сил при очень высоких плотностях пока недостаточно понято. Этот максимум может быть ниже, около 1,5 масс Солнца, но не намного ниже или выше, примерно в три солнечных массы.

В пике кривой равновесия, соответствующем (приблизительно) двум солнечным массам, нейтронные звезды кончаются. Если двигаться вдоль кривой дальше, к еще большим плотностям, равновесные звезды становятся нестабильными, таким же образом, как и в области между белыми карликами и нейтронными звездами. Из-за подобной нестабильности эти «звезды», как и промежуточные состояния между белыми карликами и нейтрон-

ными звездами, в природе существовать не могут. Если они и образуются, то либо немедленно схлопываются с образованием черной дыры, либо взрываются, чтобы стать нейтронной звездой.

Рисунок абсолютно твердо и недвусмысленно показывает: не существует какого-либо третьего семейства стабильных, массивных, холодных, мертвых объектов между черными дырами и нейтронными звездами. Поэтому когда такие звезды, как Сириус, с массой большей, чем два Солнца, исчерпывают свое ядерное горючее, они должны либо сбросить всю лишнюю массу, либо схлопнуться (превзойдя по плотности белые карлики и нейтронные звезды) до критического размера, и затем, как мы сегодня, в 90-х совершенно уверены, должны образовывать черные дыры. Схлопывание неизбежно. Для звезд с достаточно большой массой ни вырожденное давление электронов, ни ядерное взаимодействие между нейтронами не могут остановить катастрофическое сжатие. Гравитация преодолевает даже ядерные силы.

Однако существует выход, позволяющий спасти все звезды, даже самые тяжелые, от судьбы черной дыры. Возможно, все массивные звезды либо в последней фазе своей жизни (например, в ходе взрыва), либо в процессе умирания, теряют столь большую часть своей массы, что их масса становится ниже предела, равного двум солнечным массам, и, таким образом, они могут окончить свое существование на кладбище нейтронных звезд или белых карликов. В течение 40-х, 50-х и в начале 60-х го-

дов астрономы склонялись к тому, чтобы поддержать подобную точку зрения, когда задумывались о конечной судьбе звезд. (Однако, скорее всего, они об этом почти не думали, поскольку не существовало данных наблюдений, подталкивающих их к соответствующим размышлениям, а собираемые ими данные о других типах объектов — обычных звездах, туманностях, галактиках — были столь богаты, многообещающи и интересны, что полностью поглощали их внимание.)

Сегодня, в 90-х годах, мы знаем, что тяжелые звезды, старея и умирая, действительно освобождаются от большей части своей массы; они сбрасывают при этом так много вещества, что большая часть звезд, родившихся с массами около 8 солнечных, теряют достаточно, чтобы оказаться на кладбище нейтронных звезд. Так природа, кажется, полностью защитилась от черных дыр.

Но не совсем. Большое число данных наблюдений позволяет предположить (но это еще не доказано), что большинство звезд, имеющих массу больше, чем 20 Солнца, остаются, умирая, настолько тяжелыми, что их внутреннее давление не может противостоять гравитации. Когда они исчерпывают свое ядерное горючее и начинают остывать, гравитация пересиливает давление, и они схлопываются с образованием черных дыр.

Многое можно узнать о характере науки и о самих ученых, читая об изучении нейтронных звезд и звездных сердцевин в 1930-х годах.

Исследования Оппенгеймером и Волковым объектами были, в сущности, нейтронными звездами Цвики, а не нейтронными сердцевинами Ландау, поскольку не имели окружающего «конверта» звездного вещества. Тем не менее Оппенгеймер испытывал так мало уважения к Цвики, что отказывался связывать его имя с этими объектами и настаивал на использовании имени Ландау. Таким образом, его совместная статья с Волковым, описывающая их результаты и опубликованная в февральском выпуске «Physical Review», называлась «О массивных нейтронных сердцевинах». И чтобы быть уверенным в том, что ни у кого не возникнут сомнения об источнике его идей об этих звездах, Оппенгеймер усыпал статью ссылками на Ландау. При этом он ни разу не процитировал ни одну из многочисленных приоритетных публикаций Цвики о нейтронных звездах.

Со своей стороны, Цвики с нарастаю-

щим испугом следил в 1938 г. за проводимыми Толманом, Оппенгеймером и Волковым исследованиями структуры нейтронных звезд. «Как они смеют это делать?» — кипятился он. Нейтронные звезды были его, а не их детищем; это не их дело — работать над нейтронными звездами и, кроме того, хотя Толман иногда с ним и говорил, Оппенгеймер не консультировался с ним вообще!

Однако в пачке статей, написанных Цвики о нейтронных звездах, содержались лишь одни разговоры и умозрительные рассуждения и никаких конкретных деталей. Он был настолько занят, углубившись в широкий (и достаточно успешный) наблюдательный поиск сверхновых, чтение лекций и написание статей об идее нейтронных звезд и их роли в возникновении сверхновых, что никогда и не старался разобраться в деталях. Теперь же дух соперничества требовал от него действий. В начале 1938 г. он сделал все, что мог, чтобы разработать подробную математическую теорию нейтронных звезд и связать ее с наблюдением сверхновых. Плод его усилий был опубликован в выпуске «Physical Review» от 15 апреля 1939 г. под названием «О теории и наблюдении сильно сколлапсировавших звезд». Его работа была в 2,5 раза длиннее, чем у Оппенгеймера и Волкова, и не содержала ни одной ссылки на опубликованную ими двумя месяцами ранее статью: он ссылался лишь на вспомогательную маленькую публикацию одного Волкова. Впрочем, в этой статье не содержалось ничего примечательного. В действительности большая ее часть была просто неверной. Работа же Волкова—Оппенгеймера была мощной, элегантно, полной вдохновения, корректной во всех деталях.

Несмотря на это сегодня, почти полвека спустя, мы благовоеем перед Цвики, создавшим концепцию нейтронных звезд и верно понявшим, что нейтронные звезды образуются при взрывах сверхновых и питают их энергией; благовоеем перед ним за их совместное с Бааде доказательство, основанное на наблюдениях того, что сверхновые действительно являются уникальным классом астрономических объектов, за то, что он инициировал и провел десятилетние наблюдения по определению сверхновых — и за много других, не относящихся к сверхновым и нейтронным звездам, озарений.

Как же может быть, что человек со столь скудным пониманием физических законов оказался таким проницательным? Моя точка зрения состоит в том, что он

соединял в себе замечательную комбинацию черт характера: достаточное понимание теоретической физики, чтобы если не количественно, то хотя бы качественно оценивать явления; любопытство, развитое настолько, чтобы следить за всем происходящим в физике и астрономии; способностью интуитивно распознавать (как мало кто может) связь между несопоставимыми феноменами; и, что не менее важно, огромная уверенность в своем собственном пути познания истины, он никогда не боялся выставить себя глупцом. Например, он не колеблясь опубликовал в 1931 г. идею о том, что звезды подпитываются энергией от сверхплотных сердцевин, в которых нарушаются законы квантовой механики. В своем владении теоретической физикой Ландау значительно превосходил Цвики; он входит в первую десятку физиков-теоретиков XX в. Однако его предположения были неверны, а прав был Цвики. Солнце не получает энергию от нейтронной сердцевины, а сверхновые получают. Может быть, Ландау, в отличие от Цвики, просто не повезло? Частично это так. Но есть и другой фактор. Цвики был погружен в атмосферу Маунт-Вильсона — крупнейшего центра астрономических наблюдений. Он сотрудничал с одним из лучших астрономов — Вальтером Бааде, который владел данными наблюдений. В Калтехе он имел возможность почти ежедневно разговаривать с крупнейшими специалистами по наблюдению космических лучей. В противоположность этому Ландау не имел никакого контакта с практическими астрономами, и его статьи подтверждают это. Без такого контакта он не мог развить в себе острого восприятия того, что собой представляют находящиеся не здесь, а далеко вне Земли объекты. Величайшим триумфом Ландау стало его мастерское использование законов квантовой механики для объяснения феномена сверхтекучести (полное исчезновение внутреннего трения в жидком гелии при охлаждении до температур вблизи абсолютного нуля); при этом в своих исследованиях он тесно сотрудничал с экспериментатором, Петром Капицей, подробно изучавшим сверхтекучесть.

Ландау, как и Цвики, был в высшей мере самоуверен и совершенно не боялся выставить себя глупцом. Например, он не колеблясь опубликовал в 1931 г. идею о том, что звезды подпитываются энергией от сверхплотных сердцевин, в которых нарушаются законы квантовой механики. В своем владении теоретической физикой Ландау значительно превосходил Цвики; он входит в первую десятку физиков-теоретиков XX в. Однако его предположения были неверны, а прав был Цвики. Солнце не получает энергию от нейтронной сердцевины, а сверхновые получают. Может быть, Ландау, в отличие от Цвики, просто не повезло? Частично это так. Но есть и другой фактор. Цвики был погружен в атмосферу Маунт-Вильсона — крупнейшего центра астрономических наблюдений. Он сотрудничал с одним из лучших астрономов — Вальтером Бааде, который владел данными наблюдений. В Калтехе он имел возможность почти ежедневно разговаривать с крупнейшими специалистами по наблюдению космических лучей. В противоположность этому Ландау не имел никакого контакта с практическими астрономами, и его статьи подтверждают это. Без такого контакта он не мог развить в себе острого восприятия того, что собой представляют находящиеся не здесь, а далеко вне Земли объекты. Величайшим триумфом Ландау стало его мастерское использование законов квантовой механики для объяснения феномена сверхтекучести (полное исчезновение внутреннего трения в жидком гелии при охлаждении до температур вблизи абсолютного нуля); при этом в своих исследованиях он тесно сотрудничал с экспериментатором, Петром Капицей, подробно изучавшим сверхтекучесть.

Для Эйнштейна, в отличие от Ландау и Цвики, тесный контакт наблюдений и тео-

рии не имел особого значения; он открыл законы своей общей релятивистской теории гравитации, почти не имея какой-либо экспериментальной основы. Подобное, однако, было редким исключением. Обогащающее взаимодействие теории и эксперимента существенно для прогресса многих направлений физики и астрономии.

А как же Оппенгеймер, владение которого теоретической физикой было сравнимо с мастерством Ландау? Его совместная с Волковым статья о структуре нейтронных звезд — одна из величайших статей в астрофизике во все времена. Но как бы значительна и красива она ни была, она «просто» дополняла детали концепции нейтронных звезд. В действительности же эта концепция была детищем Цвики, как и сверхновые и обеспечение энергией сверхновых посредством схлопывания звездного ядра с образованием нейтронной звезды. Почему Оппенгеймер, имея так много преимуществ, оказался гораздо меньшим новатором, чем Цвики? Прежде всего, думаю, произошло это потому, что он отказывался (даже опасался) делать умозаключения. Айседор И. Раби, близкий друг и поклонник Оппенгеймера, описал это гораздо глубже:

«...мне кажется, что до некоторой степени Оппенгеймер был более образован в областях, лежащих вне научной традиции, взять хотя бы его интерес к религии, в особенности к религии индуизма, давшей ему чувство того, что тайна Вселенной окутывает нас как туман. Он ясно понимал физику, обращаясь к тому, что уже было сделано, но на границе неизвестного склонялся к ощущению, что здесь существует гораздо больше загадочного и нового, чем в действительности. Он был недостаточно уверен в уже имевшейся в его распоряжении интеллектуальной мощи и не мог устремить свои мысли к самой конечной точке, инстинктивно чувствуя, что нужны какие-то новые идеи и новые методы, чтобы продвинуться дальше того к чему уже пришел он со своими студентами».

(Продолжение следует)

© Перевод с английского М. Л. Городецкого

Космические исследования

# Запуски космических аппаратов в Российской Федерации: ноябрь — декабрь 1993 г.

В ноябре — декабре 1993 г. космическими службами России было запущено четыре спутника, в том числе два спутника серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства.

Очередной спутник связи «Горизонт» выведен на близкую к стационарной орбиту в целях дальнейшего развития систем связи и телевизионного вещания, а спутник связи «Молния-1» предназначен для обеспечения эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи, а также передачи программ телевидения из Москвы на пункты сети «Орбита».

Перечисленные выше спутники запущены ракетами-носителями «Космос», «Союз», «Протон», «Молния».

Таким образом, в 1993 г. космическими службами России всего было запущено 59 космических объектов, в том числе два пилотируемых космических корабля «Союз ТМ», пять автоматических грузовых кораблей «Прогресс М», 38 спутников серии «Космос», девять спутников связи «Молния», «Радуга», «Горизонт», три спутника для

изучения природных ресурсов типа «Ресурс-Ф», один метеорологический спутник «Метеор-2» и спутник «Старт-1».

Впервые в практике запусков космических объектов в нашей стране годичное число запусков в 1993 г. существенно (почти в два раза) снизилось (1989—95, 1990—96, 1991—82, 1992—75, 1993—59).

© С. А. Никитин  
Москва

Астрофизика

## Измерить температуру солнечного ядра

Во внутренних областях Солнца происходит ядерная реакция, при которой ядро  $^6\text{Li}$  захватывает электрон и превращается в ядро  $^7\text{Li}$ , излучая при этом нейтрино. В лабораторных условиях подобное нейтрино обладает энергией 861,84 кэВ.

Однако, согласно подсчетам астрофизика Дж. Бакалла (J. Bahcall; Институт высших исследований в Принстоне, штат Нью-Джерси, США), нейтрино, излучаемое при высоком давлении солнечных недр, должно иметь (в соответствии с принятой моделью Солнца) более высокую энергию, а именно 862,27 кэВ.

Данная реакция осуществляется лишь вблизи центра Солнца, в области, охватывающей 4 % солнечной массы.

Поэтому, точно установив энергию нейтрино, можно проверить и правильность теории, описывающей физические условия, в частности температуру в центральных областях Солнца.

Подобные эксперименты по прямым высокоточным измерениям энергии солнечных нейтрино предполагается начать еще в текущем десятилетии.

Physical Review Letters. 1993. V. 71. P. 2369 (США); New Scientist. 1993. V. 140. N 1898. P. 19 (Великобритания).

Астрономия

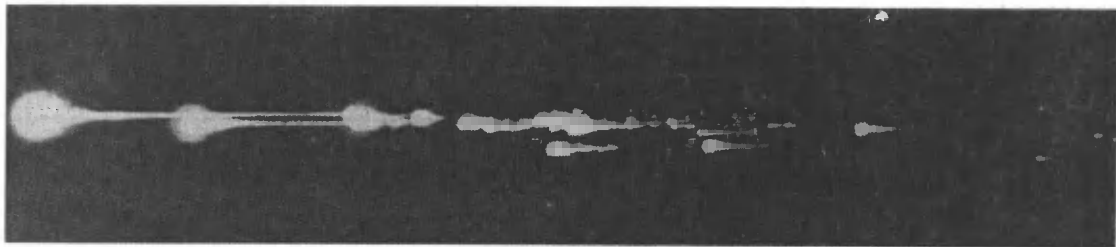
## Как столкнется комета с Юпитером?

25 марта 1993 г. Каролина Шумейкер обнаружила на фотографии, полученной камерой Шмидта Паломарской обсерватории, комету необычного вида (впоследствии, при наблюдении с Космического телескопа им. Хаббла, выяснилось, что она состоит более чем из двух десятков фрагментов кометного ядра). Вместе с ней поиском комет и обработкой наблюдательных данных занимаются ее муж Ю. Шумейкер и Д. Леви. В прошлых публикациях об этой комете в «Природе»<sup>1</sup> ее название было дано неточно. Следует писать: комета Шумейкер-Левис 9.

16—22 июля 1994 г. ожидается столкновение этой кометы с Юпитером. Глубина, до которой проникнут в атмосферу Юпитера наибольшие из ядер кометы, оценивалась А. В. Бялко в предположении, что в ат-

| Космический аппарат | Дата запуска | Параметры начальной орбиты |            |                  |                       |
|---------------------|--------------|----------------------------|------------|------------------|-----------------------|
|                     |              | перигей, км                | апогей, км | наклонение, град | период обращения, мин |
| «Космос-2266»       | 2.XI         | 967                        | 1 031      | 82,9             | 104,8                 |
| «Космос-2267»       | 5.XI         | 198                        | 279        | 70,4             | 89                    |
| «Горизонт»          | 18.XI        | 35 063                     | 35 063     | 1,3              | 1399                  |
| «Молния-1»          | 22.XII       | 446                        | 39 206     | 62               | 703                   |

<sup>1</sup> Бялко А. В. «Кометный поезд» на пути к Юпитеру // Природа. 1993. № 8. С. 21; Он же. Кометная цепочка: рождение и гибель // Там же. 1993. № 12. С. 80.



мосфере не произойдет дальнейшего распада фрагментов. Это, однако, не так. Уже на высоте около 150 км над облачным слоем ускорение, вызванное торможением кометы, вызовет в ее ядре напряжения, превосходящие его прочность. В результате ядро расколется и малые фрагменты будут падать по независимым траекториям, замедляясь более эффективно, чем целое ядро. Как это происходит, наглядно видно на серии фотографий, полученных 9 октября 1992 г. при регистрации падения метеорита Пикскилл<sup>2</sup>.

Теория механического разрушения метеороидных тел при торможении в атмосфере была развита С. С. Григорьяном<sup>3</sup>. Она позволяет уточнить высоту, на которой окончательно разрушатся и испарятся наибольшие фрагменты кометы: это произойдет в районе  $\pm 50$  км от уровня облачного слоя Юпитера.

© А. Бережной,  
студент МГУ

#### Метеоритика

### Пикскилл — самый информативный метеорит

9 октября 1992 г. в 23<sup>h</sup>48<sup>m</sup> UT (около 20 час. местного времени) над штатом Кентукки (США) появился болид, превосходящий по светимости полную Луну. Он перемещался в северо-восточном направлении около 40 с, пройдя путь, превышающий 700 км, и

в течение 22 с был зафиксирован 14 видеокамерами из шести населенных пунктов штатов Вирджиния, Огайо и Пенсильвания. Наконец, фрагмент этого метеорита (хондрит класса Н6, масса 12,4 кг) пробил багажник автомобиля в селении Пикскилл (Peekskill, штат Нью-Йорк). Результаты первичной обработки этих наблюдений представила группа американских и канадских ученых.

До падения метеорита Пикскилл только три атмосферных следа небесных тел Солнечной системы были зафиксированы с точностью, достаточной для восстановления параметров их орбит (метеориты Прибрам, Иннисфри и Лост Сити). Удачное время падения метеорита, когда на вечерних школьных соревнованиях присутствовало много зрителей с видеокамерами, позволило подробно зафиксировать событие и с беспрецедентной точностью восстановить параметры орбиты этого малого небесного тела.

Метеорит Пикскилл сблизился с земной поверхностью по очень пологой траектории (если бы Земля была лишена атмосферы, он сумел бы избежать столкновения). Это обстоятельство способствовало наблюдению метеорита, а кроме того, обеспечило достаточно плавное его торможение. В результате два фрагмента первоначального тела сохранились и достигли земной поверхности (к сожалению, пока обнаружен только один из них). При теоретических расчетах торможения тел на таких, почти касательных, траекториях приходится учитывать действие земного притяжения и кривизну земной поверхности, что значительно усложняет расчеты. Авторы приводят только те результаты, которые не требуют моделирова-

Фотография падения метеорита Пикскилл. Видна интенсивная фрагментация [высота около 40 км].

#### Параметры орбиты

##### метеорита Пикскилл:

большая полуось  $1,49 \pm 0,03$  а. е.  
эксцентриситет  $0,41 \pm 0,01$   
расстояние до перигелия  $0,886 \pm 0,004$  а. е.  
расстояние до афелия  $2,1 \pm 0,05$  а. е.  
угол перигелия  $308^\circ \pm 1^\circ$   
долгота восхождения  $17,030^\circ \pm 0,001^\circ$   
наклонение орбиты  $4,9^\circ \pm 0,2^\circ$   
период обращения  $1,82 \pm 0,05$  г.  
время после перигелия  $41 \pm 1$  день

#### Параметры столкновения с Землей метеорита Пикскилл:

скорость сближения с Землей  $10,1 \pm 0,1$  км/с  
скорость вхождения в атмосферу  $14,72 \pm 0,05$  км/с  
угол вхождения в атмосферу  $3,4^\circ$   
склонение радианта  $15^h07^m \pm 02^m$   
прямое восхождение радианта —  $16,2^\circ \pm 0,2^\circ$   
высота начала фрагментации 46 км  
высота максимума свечения 36 км

ния взаимодействия тела с атмосферой, в частности, не дана оценка начальной массы метеорита.

На последовательных кадрах видеосъемки зафиксирована фрагментация метеорита, представляющая уникальный интерес для последующего моделирования. Она начинается на высоте около 46 км, при этом малые осколки отстают в своем движении. Через 12—13 с длина светящейся цепочки фрагментов уже превосходит 20 км. На отдельных кадрах удается обнаружить до 70 светящихся объектов разной величины с тонкими хвостами испаряющегося материала. Яркость свечения наибольших фрагментов выходит

<sup>2</sup> Brown P. et al. // Nature. 1994. V. 367. N 6464. С. 624.

<sup>3</sup> Григорьян С. С. // Космические исследования. 1979. Т. XVII. № 6.

за пределы диапазона регистрации видеокамер и фотопленки, поэтому они изображаются в виде ярких пятен, не дающих верных очертаний фронта ударных волн. Анализ последовательных кадров показывает, что отделение плазменного хвоста от основного тела происходит с пульсациями на частоте около 6 Гц.

Особенно интересно, что кроме продольного растяжения цепочки фрагментов существует заметное поперечное смещение траектории отдельных осколков. При этом очевидно, что отстающие фрагменты находятся внутри конуса Маха первого, наибольшего по светимости объекта, т. е. они тормозятся уже возмущенной атмосферой. На последних из зафиксированных кадров видно, что все фрагменты, кроме двух, испарились при торможении.

За всю историю описаны лишь единичные случаи незначительного ущерба, нанесенного падением метеоритов. Попадание метеорита в автомашину также уникально. Как шутит Д. Хьюджес в статье, предвещающей основной отчет о событии, не хватает автомашин, чтобы обнаружить все упавшие метеориты.

Nature. 1994. V. 367. N 6464. P. 596, 624—626 (Великобритания).

#### Астрономия

### Новое кольцо Юпитера

В 1992 г. комета Шумейкеров-Леви 9, проходя вблизи Юпитера, развалилась под действием его мощных приливных сил на множество мелких обломков<sup>1</sup>.

М. Хораньи (M. Horanyi; Университет штата Колорадо, Боулдер, США), выполнив ряд вычислений, пришел к выводу: магнитосфера Юпитера захватит часть образовавшихся при разрушении кометы пылевых частиц

микрометрового размера, а затем из таких частиц сформируется новое кольцо вокруг Юпитера на расстоянии шести его радиусов, т. е. далеко за пределами уже существующих юпитерианских колец.

Из аналогичных частиц состоят три слабо светящихся кольца Юпитера, которые были открыты приборами «Вояджера» еще в 1979 г. Эти кольца всего за несколько тысячелетий должны растерять почти все свои частицы, поэтому необходимо установить источник их пополнения.

По мнению Хораньи, пыль кометного происхождения в состоянии поддерживать существование внешнего весьма разреженного кольца Юпитера (захват происходит, когда электрически заряженная частица теряет свою энергию и инерцию при движении сквозь магнитосферу планеты). Предполагается, что два других кольца Юпитера формировались из вещества иного происхождения.

П. Голдрайх (P. Goldreich; Калифорнийский технологический институт, Пасадена, США) считает, что у Юпитера вполне может возникнуть новое пылевое кольцо буквально «у нас на глазах». Однако он сомневается, что таков же механизм «прирастания» колец у других планет-гигантов: у них отсутствует комбинация сильных магнитных и гравитационных полей, характерная для Юпитера. Соглашаясь с ним, Хораньи указывает, например, что основные кольца Сатурна состоят из крупных каменных тел, которые не могут быть захвачены планетой подобным образом.

New Scientist. 1993. V. 140. N 1901. P. 17 (Великобритания).

#### Химия атмосферы

### Озонометрическая статистика требует теоретического осмысления

Группа сотрудников Всемирной метеорологической организации (ВМО) ООН в Женеве (Швейцария), включающая специалистов из Аристотелева

университета в Салониках (Греция) и возглавляемая болгарским ученым Р. Божковым (R. Bojkov), завершила детальный анализ озонометрических данных по Северному полушарию, полученных за последние 25 лет.

Установлено, что в период между 1969 и 1989 гг. концентрация озона в атмосфере над Европой и Северной Америкой в зимне-весенний сезон снижалась в среднем примерно на 3 % за десятилетие. В последнее время этот процесс резко усилился, и в результате общее сокращение концентрации озона с ноября 1969 г. по конец лета 1993 г. достигло 14 %. Наиболее пострадавшим от разрушения озоносферы в 1992—1993 гг. оказался регион между 45 и 65° с. ш. (по сравнению со всей остальной Сибирью, Европой и Северной Америкой).

Простого объяснения такого явления специалисты пока не видят. В ряде случаев бедные озоном воздушные массы в январе — феврале могли поступать сюда как из более низких широт, так и с меньших высот над поверхностью Земли. Например, естественно обедненный озоном воздух поднимался в нижнюю стратосферу над британскими о-вами, поступающая сюда из субтропических областей Атлантики и нарушая при этом обычный характер атмосферной циркуляции. С другой стороны, над этим же регионом в конце февраля — начале марта отмечалось поступление воздуха со значительных высот из полярных областей. Эти воздушные массы несли хлорсодержащие вещества, ответственные за разрушение хрупких молекул озона.

Еще более запутывают картину последствия мощного извержения вулкана Пинатубо на Филиппинских о-вах в 1991 г., повлиявшего как на химический состав стратосферы, так и на общую циркуляцию атмосферы Земли.

Статистический анализ, выполненный специалистами из ВМО, требует дальнейшего теоретического осмысления.

Geophysical Research Letters. 1993. V. 20. N 1351 (США); New Scientist. 1993. V. 139. N 1891. P. 18 (Великобритания).

<sup>1</sup> См. также: Бялко А. В. «Кометный поезд» на пути к Юпитеру // Природа. 1993. № 8. С. 21; Он же. Кометная цепочка: рождение и гибель // Там же. 1993. № 12. С. 80.

## Физика

## Строится детектор гравитационных волн

Как известно, теория относительности Эйнштейна предсказывает существование гравитационных волн, пронизывающих все пространство. Очевидно, они могут возникать, когда где-либо во Вселенной происходит гигантская катастрофа, например коллапс звезды, приводящий к появлению черной дыры<sup>1</sup>. Однако экспериментально такие волны еще никто не наблюдал. Не удивительно поэтому, с каким интересом в научной среде встречено решение Франции и Италии построить совместными усилиями гигантский детектор, способный регистрировать гравитационные волны. Местом для размещения избран городок Кашина вблизи Пизы (северная Италия), где выделена подходящая площадка в 40 га. Общая стоимость проекта — около 30 млн. долл., причем Франция внесла свою долю еще в начале 1992 г., а Италия смогла это сделать в сентябре 1993 г.

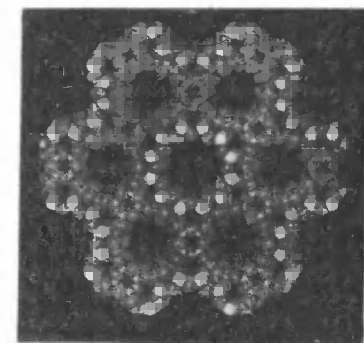
Строительство началось. Детектор, которому присвоено наименование «Virgo», должен вступить в строй к 1998 г.

New Scientist. 1993. V. 40. N 1895. P. 12 (Великобритания).

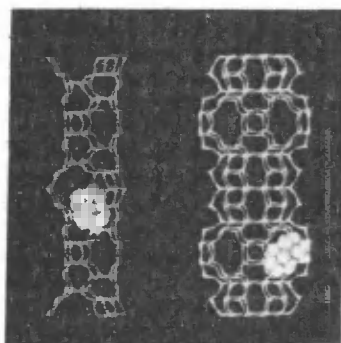
## Химия

## Новый синтетический цеолит

Молекулярные сита из цеолитов привлекают особое внимание в областях, где необ-



Кристаллическая структура DAF-1. Слева — вид сверху; справа — вид сбоку.



ходима тонкая сепарация молекул, например в таких, как катализ и сенсорная техника. Молекулярное сито — это микропористое тело, избирательно поглощающее из окружающей среды вещества, размеры которых меньше размеров микропор. Молекулярные сита из цеолитов позволяют наиболее четко производить адсорбционное разделение смесей веществ в газообразной и жидкой фазах.

Для этих целей химики ищут новые синтетические материалы с более совершенной внутренней геометрией. Одним из перспективных является метод выращивания синтетических цеолитов на основе органических темплетных молекул.

Примером таких кристаллических структур является перспективный цеолит DAF-1 (Davey—Faraday-1), созданный группой английских химиков во главе с Дж. М. Томасом (J. M. Thomas; Королевский институт).

DAF-1 — это первый цеолит с двумя развитыми, но независимыми системами пересекającychся каналов. Стенка каждого из них состоит из окон, представляющих собой 12 тетраэдрических колец атомов алюминия или фосфора, соединенных кислородными мостиками. Диаметр меньшего канала примерно 0,61 нм (12 его колец как бы сморщены), а диаметр более широкого канала — около 0,74 нм и открывается в выпуклые кольцевые поры, имеющие поперечное сечение 1,6 нм.

Для синтеза цеолита авто-

ры использовали гидроокись декаметония  $[(\text{—CH}_2)_6\text{NMe}_2]_2\text{X} \times (\text{OH})_2$ . Новый материал, металлсодержащий (например, магний) алюминиевый фосфат ( $\text{MeAPO}$ ), является как бы гибридом природного минерального цеолита Y и синтетического цеолита ZSM-5, созданного М. Дэвисом<sup>1</sup>. Цеолит Y используется в каталитических процессах при производстве бензина, а цеолит ZSM-5, имеющий в отличие от цеолита DAF-1 две системы пересекающихся каналов, используется в производстве метанола. Таким образом, родственный им цеолит DAF-1 мог бы также применяться для конверсии углеводородов, содержащихся в нефти. В частности, молекулярные сита на основе цеолита DAF-1 могли бы сепарировать такие крупные молекулы, как разветвленные алканы. Вообще же кристаллическая структура материала DAF-1 способна задерживать молекулы размером от 0,5 до 1,5 нм.

Кроме того, DAF-1, благодаря сложной и совершенной архитектуре пересекającychся каналов, мог бы быть использован для контроля процессов массообмена на молекулярном уровне.

Nature. 1993. V. 364. N 6436. P. 391—393 (Великобритания).

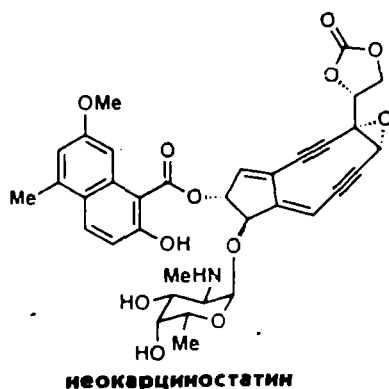
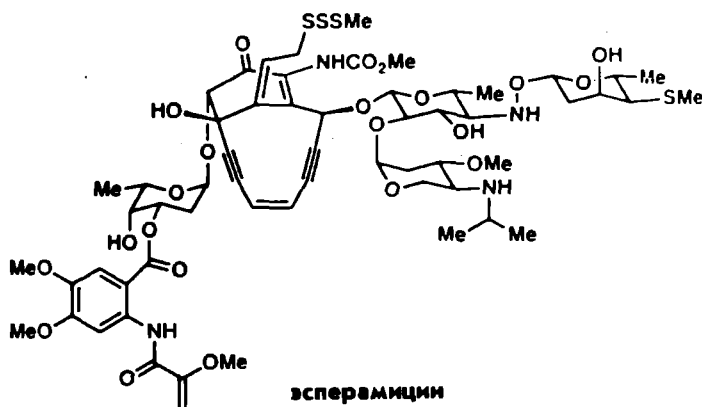
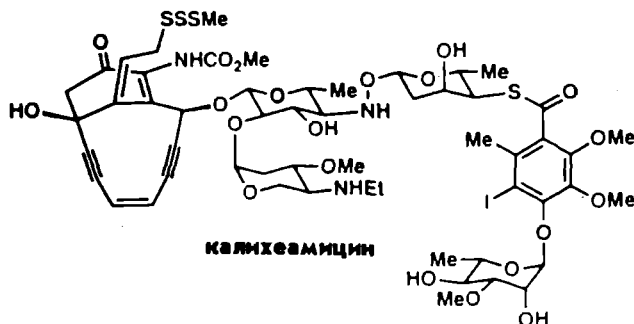
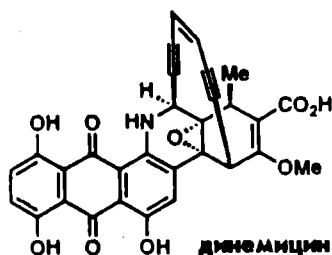
## Биохимия

## Эндиины — новые противоопухолевые вещества

В борьбе с онкологическими заболеваниями наряду с

<sup>1</sup> Открытие в 1974 г. Р. Холсе и Дж. Тейлором двойного пульсара (тесной системы нейтронных звезд) расширило возможности в изучении гравитации: точно измеренное им уменьшение периода обращения компонент этой системы подтвердило факт излучения гравитационных волн двойным пульсаром, за что им была присуждена Нобелевская премия. См.: Лауреаты Нобелевской премии 1993 г. // Природа. 1994. № 1. С. 103—104.

<sup>1</sup> Davis M. E., Loobo R. F. // Chem. Mater. 1992. V. 4. P. 756—768.



# Новые природные противоопухолевые вещества.

хирургическими методами и радиотерапией широко используется химиотерапия. В лабораториях всего мира ведется поиск высокоэффективных и специфических по отношению к раковым клеткам веществ. В течение последних 12 лет ученые обнаружили и выделили из бактерий четыре новых антибиотика с мощной противоопухолевой активностью.

Недавно американские ученые во главе с К. Николау (К. Nicolaou; Скриппсовский институт, Ла-Холья, штат Калифорния) синтезировали эти соединения (ендиины). По мнению специалистов, это настоя-

щий триумф в органической химии и химической технологии. Авторы подробно исследовали механизм противоопухолевого действия ендинов и установили, что эти биологически активные соединения содержат две тройные и одну двойную связи. В отличие от известных лекарственных препаратов, действие которых основано на ингибировании ДНК- или РНК-полимераз или алкилировании компонентов опухолевых клеток, механизм действия ендинов основан на образовании активных бирадикалов по механизму реакции Бергмана<sup>2</sup>. Ендиин превращается в бирадикал, который отрывает два атома водорода от сахарофосфатного остова ДНК с образованием бензола; разрыв остова приводит к деградации ДНК и гибели опухолевых клеток. Дополнительные исследования выявили высокую чувствительность опухолевых клеток к новым антибиотикам по сравнению с нор-

мальными клетками. Например, гибель половины клеток карциномы легкого вызывает антибиотик в концентрации  $9,8 \times 10^{-8}$  М, миеломы —  $7,7 \times 10^{-9}$ , Т-клеток —  $1,1 \times 10^{-9}$ , нормальных фибробластов —  $5,0 \times 10^{-6}$ , эпителиальных клеток —  $6,3 \times 10^{-6}$ .

Nature. 1993. V. 361. N 6407. P. 21—22 (Великобритания).

Медицина. Биохимия

## Можно ли вылечить рассеянный склероз?

Сейчас есть много оснований считать рассеянный склероз, тяжелое хроническое заболевание центральной нервной системы, аутоиммунным. Известно, что при рассеянном склерозе часть Т-лимфоцитов атакует миелиновые оболочки, окружающие отростки нервных клеток и состоящие из белково-липидного комплекса — миелина. Мишенью Т-клеток служит

<sup>1</sup> Konishi M. et al. // J. Antibiot. 1989. N 42. P. 1449—1452; Lee M. D., Ellstad G. A., Borders D. B. // Acc. chem. res. 1991. N 24. P. 235—243; Konishi M. et al. // J. Antibiot. 1985. N 38. P. 1605—1609; Napier M. A. et al. // Biochem. biophys. res. commun. 1979. N 89. P. 635—642.

<sup>2</sup> Bergman R. G. // Acc. chem. res. 1973. N 6. P. 25—31.

миелиновый белок, разрушение которого вызывает образование множественных очагов поражения нервной системы и возникновение парезов, что обычно приводит к смерти больного.

В начале 80-х годов при моделировании рассеянного склероза на крысах ученым удалось добиться снижения количества Т-клеток у заболевших животных путем введения им инактивированных Т-клеток.

В клинических исследованиях Дж. Жэнг (J. Zhang; Виллемский институт, Бельгия) и Д. Хафлер (D. Hafler; Гарвардская медицинская школа, Бостон, США) продемонстрировали тот же эффект на шести больных рассеянным склерозом. Каждому больному инактивированные Т-лимфоциты вводили три раза. После второго введения число циркулирующих в крови больных аутореактивных Т-лимфоцитов заметно снизилось, а после третьего — у пяти больных упало ниже определяемого минимума. При этом состояние больных явно улучшилось. В настоящее время ученые готовят опробовать этот метод лечения еще на двух больших группах пациентов.

Сложность проведения такого лечения состоит в трудоемкости приготовления «вакцины» против Т-лимфоцитов даже в лабораторных условиях. Для этого из крови каждого больного выделяют Т-лимфоциты, обрабатывают их антигеном (миелиновым основным белком) для приведения их в аутореактивное состояние, затем инактивируют ионизирующим излучением. Лишь после этого клетки могут быть введены тем больным, от которых были получены.

Х. Оффер (H. Offer; Университет здоровья, Портленд, штат Орегон, США) предложил другой подход к этой проблеме — использовать синтетическую вакцину — и уже получила первые положительные результаты, опробовав эту вакцину на 11 больных рассеянным склерозом.

Science. 1993. V. 261. P. 1451 (США).

## Медицина

### ВИЧ против матери и ребенка

Согласно последним данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), только в 1993 г. вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ) заразились более миллиона женщин, а, по прогнозу, к 2000 г. вирусоносителями станут свыше 13 млн. женщин и около 4 млн. из них погибнут.

По мере распространения ВИЧ-инфекции среди женщин все больше появляется детей, зараженных этим вирусом: почти каждый третий ребенок, рожденный ВИЧ-инфицированной матерью, сам оказывается инфицированным. На сегодня около миллиона детей являются вирусоносителями, причем у половины из них уже развился СПИД.

С начала эпидемии в мире насчитывается 14 млн. чел., зараженных ВИЧ, однако СПИД как заболевание с выраженными клиническими проявлениями отмечается менее чем у 1/5 этого числа, и еще меньше людей погибло.

Основным путем распространения инфекции в развитых странах по-прежнему считаются гомосексуальные половые контакты и внутривенное введение наркотиков, вместе с тем увеличивается частота гетеросексуальной передачи вируса.

World Health Organisation. Press Release. 1993. N 69 (Швейцария).

## Биология

### Уловка и контрловка: коэволюция общественного паука и паразитической мухи

Примеры коэволюции в природе не так уж многочисленны и подчас очень трудно объяснимы с точки зрения эволюционной теории, предполагающей постепенное, не скачкообразное изменение свойств организмов.

Интересные наблюдения за взаимоотношениями коло-

нального паука-кругопряда (*Metepheira incrassata*) и паразитической мухи-саркофагида (*Arachnidomyia lindae*) провели американские ученые.

Муха откладывает яйца на яйцевые коконы пауков, а самка паука охраняет свои яйца. Действительно, неохраемые коконы муха поражает гораздо чаще, чем охраняемые. Исследователям удалось показать, что паук опознает различные типы жертвы по специфическому жужжанию. Но муха-паразит научилась издавать звуки попавшей в паутину добычи! Теоретически паук должен реагировать на такой звук: покинуть яйцевой кокон и броситься на «жертву». На самом же деле он не двигается, а просто обрывает сигнальную нить, избегая неприятной информации.

Итак, на уловку мухи — имитацию попавшей в сеть добычи — паук отвечает контрловкой — обрывает сигнальную нить: долг охраны потомства берет верх над желанием покусать. Этот простейший случай коэволюции, связанный только с поведенческими признаками, тем не менее ставит проблему возникновения этих удивительных свойств поведения: неужели они возникали путем постепенного перехода от одного состояния признака к другому, как это предполагает синтетическая теория эволюции? Американские ученые пока оставили вопрос о генезисе признаков без внимания.

© К. Г. Михайлов, кандидат биологических наук Москва

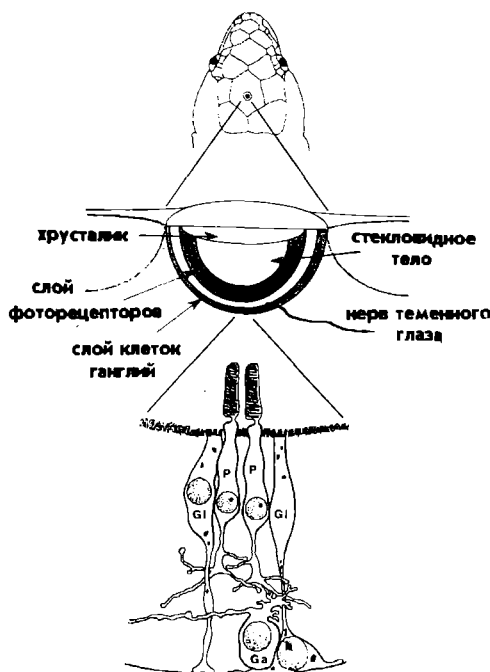
## Физиология

### Для чего ящерицам третий глаз?

Всем известно о наличии зачатков третьего (теменного) глаза у позвоночных, но мало кто знает, что у ящериц третий глаз явно выражен анатомически и расположен в ма-

Hieber C. S., Vethz G., Boyle G., Welsox S. // American Arachnology. 1993. N 48. P. 6—7.

Теменной глаз  
ящерицы.



леньком отверстии между теменными костями на уровне среднего мозга. Теменной глаз ящерицы — это высокоструктурированный фоторецепторный орган, хотя и устроен более просто, чем обычные боковые глаза.

У позвоночных световой сигнал поступает в боковой глаз на окончания чувствительных нервных волокон — фоторецепторов. Первичная обработка визуальной информации происходит в сетчатке глаза. Свет взаимодействует с фоторецепторами палочковых и колбочковых клеток сетчатки, связанных с промежуточной структурой — биполярными клетками или их промежуточными нейронами в первом слое сетчатки. В результате возникают хроматические деполяризованные и гиперполяризованные состояния поверхностных мембран нервных клеток. На молекулярном уровне поляризационные эффекты обязаны изменению проницаемости нервных клеток для ионов  $\text{Na}^+$ . Далее информация передается на вторичный синаптический слой сетчатки для кодирования и окончательной обработки с помощью нервных узлов, так называемых ганг-

лиев. Третий глаз ящериц не содержит биполярных клеток или промежуточных нейронов. Однако механизмы обработки светового сигнала практически аналогичны.

Американские ученые Э. Солеццо и Г. Энгбретсон (E. Soleccio, G. A. Engbretson; Институт сенсорных исследований при Сиракузском университете, Нью-Йорк) исследовали теменной глаз ящериц *Xantusia vigilis* и *Uta stansburiana*. Они проводили внутриклеточные измерения разности потенциалов на поверхностных мембранах фоторецепторов и установили, что под воздействием зеленого света фоторецепторы деполяризуются, а под воздействием голубого — гиперполяризуются. Амплитуда поляризационных процессов достигает величины порядка  $\pm 50$  мВ. Таким образом, уже на уровне фоторецепторов обнаруживаются так называемые антагонистические (противоположные) хроматические спектральные механизмы, выражающиеся в кодировании световой информации на клеточном уровне с помощью поляризационных эффектов разного знака. Затем нервное возбуждение с фоторецепторов передается непо-

средственно на клетки ганглиев.

Хроматизм механизма, проявляющий себя в знаке поляризационного эффекта, как оказалось, зависит в первую очередь от интенсивности света. При низком ее уровне (в сумерках и на рассвете) активизируется наиболее чувствительный «зеленый» механизм. При этом фоторецепторы деполяризуются, почти достигая своего уровня насыщения. Когда с наступлением дня интенсивность света растет, активизируется «голубой» механизм, вызывая возврат к исходному состоянию и гиперполяризацию фоторецепторов. Однако эффект гиперполяризации гораздо менее чувствителен к интенсивности света. К концу дня образуется второй пик деполяризации. Анализ всех особенностей антагонистического спектрального механизма восприятия света позволил сделать предположение, что теменной глаз ящериц является своеобразным прибором для эффективного определения сумеречных фаз суток по изменению интенсивности света.

Nature. 1993. V. 364. N 6436. P. 442—445 (Великобритания).

Зоология

**Зачем паук передвигает  
свою сеть!**

Многие пауки, строящие постоянную ловчую сеть, регулярно (почти ежедневно) возобновляют ее или передвигают в более удобное место. Такое поведение свойственно кругопрядам и близким к ним семействам. Особенно странно ведет себя паук *Tetragnatha elongata* (сем. *Tetragnathidae*), обитающий в Северной Америке: в богатых добычей местах он перемещает свою сеть почти каждую ночь, а там, где пищи мало, восстанавливает сеть на прежнем месте. Казалось бы, все должно быть наоборот: если добыча хорошо ловится именно в этом местообитании, зачем отсюда уходить?

Чтобы как-то прояснить этот вопрос, американские уче-

ные Т. Карако и Р. Джиллеспи предложили теорию фуражировки в условиях риска. По их мнению, выгоднее как можно чаще перемещать сеть в нестабильных условиях — вдруг поймается еще больше добычи. Однако недавно эколог из Аризонского университета (США) П. Смолвуд экспериментально проверил теорию Карако-Джиллеспи в полевых условиях. Он дал паукам в бедных добычей местах добавочную пищу, это вовсе не привело к появлению у них «чувства риска» и не заставило их переносить сети. По мнению Смолвуда, причиной перемещения сети является беспокойство, возникающее при усилении внутривидовой конкуренции в богатых добычей сообществах. Смолвуд даже провел специальные опыты по сокращению численности тетрагнат, и, действительно, их «передвижная» активность сильно упала.

Конечно, результаты, полученные на одном виде, нельзя распространять на прочих пауков, строящих ловчие сети; необходимы тщательные исследования как «передвижников» из семейства кругопрядов, так и других. Возможно, причины перемещения сети тесно связаны с биологией каждого конкретного вида и не зависят от его таксономического положения.

© К. Г. Михайлов,

кандидат биологических наук  
Москва

Экология

## Рыболовство: настоящее и будущее

В 1989 г. мировой улов рыбы достиг максимального за всю историю уровня — 100 млн. т; это почти вчетверо превышает показатель 1950 г. Такой драматический рост шел далеко не гладко: в 70-х годах он внезапно резко замедлился

и лишь в конце 80-х, когда начали широко применять дрейфтерные сети и перестали отказываться от некоторых ранее отвергавшихся видов рыб, кривая быстро пошла вверх. Однако на высокой точке она не удержалась: уже в 1990 г. улов снизился на 3 млн. т, что объяснялось частично падением морской активности в бывшем СССР (где в 1989 г. добывали 11,3 млн. т, а год спустя — 10,4 млн. т), а частично — сокращением мировых запасов рыбы, вызванным переловом некоторых видов в предыдущие годы.

Морские биологи — сотрудники ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН) — полагают, что 100 млн. т/год — это высший предел, который еще могут «вытерпеть» обитатели океана.

Около 70 % того прироста морской добычи, который наблюдался начиная с 1982 г., приходится на перуанского анчоуса (хамсу), южноамериканскую и японскую сардины и аляскинскую сайду. Еще одним фактором прироста стало освоение ранее почти не затронутых рыбных запасов в водах южной части Тихого океана. Однако в дальнейшем многим важным в коммерческом отношении видам стал грозить перелов. Он уже привел к падению добычи атлантической трески и сельди, пики, южноафриканской сардины, тихоокеанского окуня и ряда других.

Определенные надежды возлагались на установление в 1982 г. 200-мильных национальных экономических зон, благодаря чему в ведение государств перешел район Мирового океана, где вылавливается более 90 % всей рыбы. Однако это помогло не повсеместно: у многих развивающихся стран нет возможностей надежно патрулировать свою зону.

Рыбные запасы страдают не только от перелова, но и от разрушения морской среды обитания и мест размножения из-за прибрежного строительства и промышленного развития, загрязнения вод бытовыми, ин-

дустриальными и сельскохозяйственными стоками<sup>1</sup>. Отдельные акватории ныне не используются, поскольку тамошняя рыба сильно загрязнена вредными для человека веществами.

Специалисты опасаются, что истощение стратосферного озона тоже может нанести урон экологической системе моря: в отсутствие озонового щита возросшее количество ультрафиолетового излучения Солнца приведет к нарушению фотосинтеза и способности к размножению фитопланктона, лежащего в основании «пирамиды жизни» в Мировом океане. Морской среде обитания грозит и повышение температуры вод, связанное с парниковым эффектом.

К положительным факторам следует отнести развитие аквакультуры. Если в 1984 г. на морских фермах было получено лишь 10,5 млн. т рыбопродуктов, то четыре года спустя — уже 14,5 млн. т, т. е. почти на 40 % больше. Это составляет примерно 16 % мирового потребления животных белков, причем для некоторых развивающихся стран удельный вес аквакультуры в два с лишним раза превышает средний по земному шару. Нельзя также забывать, что для таких народов, как японцы или норвежцы, рыба традиционно служит главным источником животного белковой пищи.

Между 1950 и 1989 гг. масса выловленной в мире рыбы на душу населения возросла с 9 до 19 кг/год, но в 1990 г. она упала на 5 %. Если верно утверждение экспертов ФАО, что более 100 млн. т/год вылавливать нельзя, то, учитывая рост народонаселения планеты, следует немедленно принимать радикальные меры для сохранения рыбных запасов.

Vital Signs 1992. Worldwatch Institute. N. Y., 1992. P. 30 (США).

Экология. Экономика

## Истощение рыбных ресурсов и рыбоводство

По оценкам экспертов ФАО, мировая рыбная промыш-

<sup>1</sup> Caraco T., Gillespie R. // Ecology. 1986. V. 67. P. 1180—1185; Gillespie R., Caraco T. // Ecology. 1987. V. 68. P. 887—889.

<sup>2</sup> Smallwood P. // Ecology. 1993. V. 74. P. 1826—1835.

<sup>1</sup> См., например: Матишов Г. Г. Море на грани опустошения // Природа. 1990. № 3. С. 30—37.

ленность в 1992 г. затратила 124 млрд. долл. на отлов морской рыбы общей стоимостью всего лишь 70 млрд. долл. Убыточность рыбного промысла связана с истощением рыбных ресурсов Мирового океана. С 1980 по 1990 г. годовой улов морской рыбы увеличился с 24 млн. до 37 млн. т, и, естественно, воспроизводство рыбы в Мировом океане уже не покрывает возросший отлов. Введение прибрежными государствами 200-мильных экономических зон и квот на добычу рыбы в этих зонах для судов других стран замедлило, но не остановило процесс истощения естественных ресурсов. Хотя цена морской рыбы выросла за истекшее десятилетие примерно в 1,5 раза, в целом морской рыбный промысел стал убыточным. Дефицит покрывается государственными субсидиями, в противном случае неизбежны массовое банкротство рыболовческих компаний и резкий скачок безработицы среди рыбаков.

Но рыночная экономика находит выход: рост цен на рыбу сделал выгодным выращивание «даров моря» в искусственных условиях — в садках, клетках, бассейнах с проточной морской водой. Наибольшее распространение получило разведение лосося в северных водах и больших креветок (шримсов) — на юге.

Рыбное фермерство весьма продуктивно. Для выращивания, например, 1 кг говядины надо затратить около 7 кг корма, а 1 кг свинины — 4 кг; и хотя в производстве мясных продуктов наиболее эффективно птицеводство, тем не менее на 1 кг куриного мяса расходуется корма от 2 до 2,5 кг. Рыбы почти не тратят тепловую энергию, так как температура их тела равна температуре окружающей среды, а поскольку рыбы находятся в среде той же плотности, то они не расходуют энергию и на преодоление силы тяжести. Уже поэтому рыба использует корм для роста более эффективно, чем наземные животные. Кроме того, рыба частично потребляет естественный корм, зоопланктон, содержащийся в проточной воде. Поэтому для выращивания 1 кг рыбопродуктов фермеру приходится затра-

чивать только от 1,5 до 2 кг кормов.

Капиталовложения на строительство рыбных ферм не малы, однако цикл роста рыб от мальков до промыслового размера происходит всего за два-три года, и в итоге капиталовложения окупаются достаточно быстро. Годовой доход рыбных ферм достигает 1800 долл./га. Между 1984 и 1990 гг. в Финляндии, Дании, Египте и Индии удвоился выход рыбопродуктов с морских ферм, в Канаде утроился, а в Чили удесатерился. Мировым лидером разведения рыбы является Китай, производящий в искусственных условиях 7 млн. т в год — это почти 10 % всего мирового потребления рыбной продукции (включая пресноводную рыбу).

Приготовление рыбных кормов стало самостоятельной индустрией. В Шотландии в корм для молоди лосося добавляются 15 витаминов и 11 минералов, включая препараты для уничтожения рыбных паразитов (питьевая сода, йод) и очистки садков (оксид кальция). Для борьбы с болезнями рыб используются формальдегид, малахитовая зелень и антибиотики. Кроме того, существуют синтетические красители для улучшения товарного вида рыбы: при подкрашивании лососина утрачивает серый оттенок и становится более розовой, но польза от этого сомнительна, поэтому в США, например, добавление красителей и профилактическое использование антибиотиков запрещены законом.

Хотя очевидно, что необходим строгий контроль качества искусственно выращенных рыбопродуктов, нормы его пока нигде не установлены. Кроме таких издержек в развитии новой индустрии нарастает беспочвенность относительно загрязнения прибрежных вод ее отходами. Фермерское хозяйство площадью в 10 га производит столько же органических отходов, сколько город с 10-тысячным населением. В больших количествах эти отходы приводят к эвтрофикации: многократно усиливающаяся цветение водорослей поглощает весь растворенный в воде кислород. Серьезные опасения вызывают и генетические эксперименты по вы-

ведению новых видов рыб, более продуктивных в неволе.

Тем не менее фермерское рыбоводство — один из немногих резервов для улучшения белкового питания человечества. Производство мяса уже вышло на уровень насыщения (по крайней мере его доля на душу населения не растет с 1987 г.); происходит также перераспределение мясной продукции: увеличение объемов более продуктивного куриного мяса за счет говядины. В этих условиях рост рыбоводства неизбежен, а в перспективе вероятно создание разветвленных, более устойчивых при вспышках эпизоотий морских экосистем с многопрофильным выходом продукции.

World Watch. 1993. V. 6. N 5. P. 20 (США).

#### Экология

### Остров Марион избавился от кошек

Небольшой островок Марион, лежащий в южнополярных водах Индийского океана, между Южной Африкой и Антарктидой, был необитаем до тех пор, пока ученые ЮАР не создали там метеостанцию. В 1949 г. полярники завезли на Марион пять кошек. Их потомство вскоре одичало и к 1975 г. насчитывало уже около 2200 особей. Ежегодный прирост их численности составлял 23 %. Для островка площадью всего около 30 тыс. га это слишком много, тем более, что кошки, как было обнаружено, уничтожают за год примерно 450 тыс. гнездящихся здесь буревестников.

В связи с этим в 1977 г., когда популяция кошек превысила 3400, ученые завезли на остров вирус, вызывающий кошачью панлейкопению (болезнь, для других животных и человека безопасную). Поначалу средство оказалось эффективным: за пять лет количество кошек на острове упало до 620, однако вскоре благодаря возникшему у них иммунитету они снова размножились. Пришлось прибегнуть к более жестким мерам: с 1986 г. начался их

отстрел. За три года охотники предьявили 897 кошачьих шкурок. Кроме того, было расставлено множество ловушек с отравленной приманкой. В итоге с 1991 г. никто не видел на Марионе ни одной кошки. Численность буревестников, естественно, пошла немедленно в гору.

New Scientist. 1993. V. 139. N 1882. P. 6 (Великобритания).

#### Охрана природы

### Лошадь Пржевальского: долгий путь домой

С 1960-х годов никто не встречал дикую лошадь Пржевальского в ее родных монгольских степях. Но в зоопарках по всему миру еще сохранилось около тысячи этих замечательных животных. Поэтому в 1990 г. был разработан международный план восстановления популяции лошади Пржевальского там, где она когда-то была открыта<sup>1</sup>.

У этого вида 66 хромосом — на две больше, чем у ее домашнего родственника. Несмотря на это, они могут спариваться, давая плодотворное потомство. Чтобы уникальные наследственные черты сохранились, дикая лошадь не должна смешаться с домашней.

Еще в 1983 г. была сделана первая попытка восстановления популяции: четырех жеребцов из различных зоопарков доставили в Севенские горы на юге Франции. Первую зиму они неплохо пережили, но на следующий же год все погибли: трое — от врожденных болезней, связанных с инбридингом (близкородственное спаривание в нескольких предшествовавших поколениях), а один — вследствие сердечного приступа, последовавшего за ударом молнии.

Шесть лет спустя сюда привезли группу лошадей из Маруэллского зоопарка под Вин-

честером (Англия). Эти все еще здравствуют. Они являются собой результат хорошо спланированного спаривания, и генетические осложнения им как будто не угрожают.

В декабре 1992 г. французское отделение Всемирного фонда охраны дикой природы получило средства от своего правительства и от ряда частных спонсоров, что позволило ему выкупить 312 га практически пустовавших земель; скоро эта территория будет удвоена и полностью перейдет «во владение» лошадей Пржевальского. Сейчас их насчитывается здесь восемь особей, включая только что доставленного Памира, до сих пор жившего в парке под Парижем. Его соплеменники прибыли из других районов Франции, а также из Великобритании и Германии. Вскоре ожидаются еще двое из Польши.

Научный директор Всемирного фонда охраны дикой природы Ж.-Ф. Террас (J.-F. Terrasse; Париж) считает, что в стаде уже начала складываться обычная для этих животных на воле «общественная» структура во главе с доминантным самцом. Первые жеребята могут появиться в 1995 г. После того как численность стада превысит по крайней мере 30 голов, т. е. лет еще через пять, можно будет говорить о реинтродукции лошади Пржевальского в Монголию.

New Scientist. 1993. V. 140. N 1896. P. 8 (Великобритания).

#### Охрана природы

### В ядерных бункерах — летучие мыши

Около трех лет назад Пентагон закрыл за ненадобностью свою авиабазу Пиз в штате Нью-Гэмпшир. На значительной ее части был создан природный заповедник Грейт-Бей площадью 430 га.

Однако здесь сохранились почти недемонтированными 15 бункеров от ныне уже ликвидированных ракет с ядерными боеголовками. Каждый

из бункеров представляет собой бетонную шахту длиной 30 м, шириной 10 м и глубиной 5 м, снабженную тяжелыми дверями и оборудованную фильтровально-вентиляционной системой. Управление по охране природы США уже приняло меры, чтобы открытые пространства бывшей авиабазы активно заселялись животными и растениями. Параллельно возникла идея поселить в пустующих бункерах летучих мышей, численность которых в Северной Америке за последние годы неуклонно снижается: из 43 видов 17 уже объявлены находящимися под угрозой исчезновения.

Известно, что летучая мышь весьма разборчивое животное; уровень влажности, температура и циркуляция воздуха в ее жилище должны хорошо соответствовать ее потребностям. Поэтому еще не ясно, смогут ли они прижиться в бывших ракетно-ядерных бункерах. Для начала сотрудники заповедника Грейт-Бей открыли одну из шахт и построили в ней под самым потолком платформы, подходящие, по их мнению, для гнездования рукокрылых. Теперь предстоит ждать «решения» самих летучих мышей.

New Scientist. 1993. V. 140. N 1896. P. 8 (Великобритания).

#### Геология

### Бурый алмаз рассказывает о земных недрах

Студент Еврейского университета в Иерусалиме (Израиль) М. Шраудер (M. Schrauder) из любопытства купил не представляющий большой ценности бурый алмаз и вместе с О. Навоном (O. Navon; Институт наук о Земле того же университета) изучил химический состав этого камня столь необычной окраски. К их удивлению, она была вызвана присутствием в нем диоксида углерода в твердом состоянии.

Сам этот факт дает представление не только о происхождении алмаза, но и о процессах, происходящих в мантии Земли.

<sup>1</sup> См. также: Поздняков А. М. Лошадь Пржевальского возвращается в Монголию // Природа. 1992. № 8. С. 60; Банников А. Г., Лобанов Н. В. Лошадь Пржевальского: тревоги и надежды // Природа. 1990. № 3. С. 100—105.

Спектр поглощения бурого алмаза соответствует твердой фазе  $\text{CO}_2$  при давлениях около 5 ГПа (50 тыс. атм.). Повидимому, при образовании алмаза давление было еще выше — 7,0—8,5 ГПа. Это отвечает условиям, существующим на глубине 220—270 км, т. е. в области мантии.

Возникает вопрос: каким образом диоксид углерода мог попасть на такую глубину? По существующим у геофизиков представлениям, это невозможно, так как  $\text{CO}_2$  вступает в реакцию с высокотемпературными силикатными породами мантии.

Не исключено, что диоксид углерода попал вместе с крупными обломками карбонатных пород (например, известняка), затянутыми с поверхности в недра в районе желобов. Альтернативная точка зрения состоит в том, что  $\text{CO}_2$  выделился из расплавленных силикатных пород, поднимающихся с больших глубин. Как известно, в процессе подъема расплавов рождаются кимберлиты, из которых главным образом и возникают алмазы.

Большинство геологов и геофизиков считают все же более вероятным источником выделяющиеся из расплавленных пород газы, содержащие угле-

Nature. 1993. V. 365. N 6441. P. 42;  
New Scientist. 1993. V. 139. N 1890.  
P. 17 (Великобритания).

Геохимия

## Коралловые рифы больше отдают $\text{CO}_2$ , чем поглощают!

Являются ли коралловые рифы Мирового океана источником поступления углекислого газа в атмосферу или, наоборот, поглощают его из атмосферы?

На этот вопрос пока трудно дать определенный ответ, поскольку известно, что кораллы поглощают  $\text{CO}_2$  для построения своих известковых скелетов и выделяют его при дыхании (однако при этом допускалось, что незначительные объ-

емы газа поступают из воды в атмосферу). До недавнего времени точные измерения были невозможны из-за отсутствия необходимой аппаратуры и методики.

В 1992 г. группа французских, австралийских и бельгийских специалистов по химии океана, работающая по программе «Коралловые рифы», провела исследования во Французской Полинезии (Тихий океан), на рифе Moorea. Из результатов натурных измерений следовал вывод, что от коралловых рифов в атмосферу поступает больше  $\text{CO}_2$ , чем они поглощают, причем превышение потока в атмосферу над обратным составляет 1,5 мМ  $\text{CO}_2$  на 1 м<sup>2</sup> поверхности океана в сутки. Однако в связи с тем, что измерения выполнялись на коралловом рифе, подверженном антропогенному воздействию, экстраполяция полученных данных на все коралловые рифы Мирового океана представляется слишком смелой.

Исследователи считают, что потоки  $\text{CO}_2$  от коралловых рифов в атмосферу эквивалентны 2 % объема углекислого газа, который выделяется в масштабе планеты в результате антропогенной деятельности. Поэтому необходимо проверить полученную цифру для коралловых рифов, не подверженных антропогенному воздействию. Европейская океанологическая лаборатория в Монако и Австралийский институт морских наук организуют ныне соответствующие исследования в отдельных районах Большого Барьерного рифа.

La Recherche. 1993. V. 24. N 258.  
P. 1058 (Франция).

Океанология

## Альтиметрические исследования с океанографического спутника

В Лаборатории реактивного движения НАСА (Пасаде-на, штат Калифорния) проанализирована информация, собранная за первые шесть месяцев пребывания на орбите

французско-американского океанографического спутника TOPEX-Poseidon, запущенного 10 августа 1992 г. Обработаны измерения колебаний поверхности уровня Мирового океана. Полученные результаты в дальнейшем будут использованы океанографами для контроля компьютерных моделей колебаний уровня океана, что важно, в частности, при составлении долгосрочного прогноза изменений климата Земли.

По мнению специалиста этой лаборатории Ли Люэньфу, колебания уровня океана с октября 1992 г. по март 1993 г. были вызваны эффектами теплого и холодного сезонов и ветровыми ситуациями над океанской поверхностью. В Северном полушарии уровень океана у восточного побережья США (воды Гольфстрима) и у восточного побережья Японии (воды Куроисио) понизился более чем на 30 см. Значительная доля такого понижения вызвана зимним охлаждением океанских вод, обусловленным потоками холодного континентального воздуха с Северо-Американского и Азиатского материков. В Южном полушарии почти такой же по величине подъем уровня вод приблизительно в том же широтном поясе связан с летним прогревом атмосферы. Ли Люэньфу объясняет этот эффект тем, что увеличение или понижение температуры поверхностного 50-метрового слоя вод на 1 °C влечет за собой подъем или опускание уровня на 1 см. Изменение уровня вод в Северном полушарии несколько больше, чем в Южном, поскольку площадь его материков превосходит площадь материков Южного полушария.

Сезонные изменения пас- сатных ветров вызывают падение уровня вод в экваториальной области как в Тихом, так и в Атлантическом океане. Подъем же уровня в восточной части тропической зоны Тихого океана, у берегов Южной Америки представляет собой «след» распространения волн Кельвина, которые в декабре 1992 г. обусловили приток теплых вод, двигающихся в полосе экватора на восток и создающих условия, близкие к возникновению известного явления Эль-Ниньо.

В Индийском океане смена муссонных ветров вызвала понижение уровня в восточных и южных частях океана и его подъем в западной части.

Деятельность НАСА в проведении этого совместного проекта Франции и США направлена на исследование Земли как системы глобальной среды обитания и представляет собой часть широкой программы «Mission to Planet Earth».

Bulletin of the American Meteorological Society. 1993. V. 74. N 8. P. 1600 (США).

#### Вулканология

### Безыманный вновь заговорил

Рядом сильных взрывов началось во второй половине дня 21 октября 1993 г. извержение вулкана Безыманный на Камчатке. Событие оказалось довольно неожиданным, так как почти не отмечалось обычных в таких случаях предварительных подземных толчков.

Через день-два столб пепла поднялся над вершиной на 8—12 км, а 24 октября его высота уже достигла 15 км. Облако пепла вытянулось в юго-восточном направлении более чем на 100 км; на сейсмической станции, расположенной в 15 км, пепел лег слоем толщиной более 10 мм. Метеослужба США отметила облако частиц и газов, (вероятно, вулканического происхождения), вытянувшееся вдоль камчатского побережья.

Безыманный — вулкан «среднего возраста»: он возник в позднем плейстоцене, 5—5,5 тыс. лет назад. Правда, вырос он тогда на месте другого, значительно более древнего вулкана.

Его тысячелетнее молчание было прервано в 1955—1956 гг. мощным извержением: сильный взрыв сорвал большую часть вершины, на месте которой образовался подковообразный кратер. В дальнейшем потоки излившейся лавы почти полностью залили его. В последние несколько лет лава выдавливалась на поверхность лишь понемногу, пока не произошел этот недавний взрыв.

За событиями наблюдают сотрудники Института вулканической геологии и геохимии РАН (Петропавловск-Камчатский).

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1993. V. 18. N 9. P. 2 (США).

#### Метеорология

### Геологический след метеорологического явления

На юго-востоке США, в районе, простирающемся от Техаса до Северной Каролины, мощные штормы отмечаются почти ежегодно, однако не многие из них причиняют столь же большой ущерб, как ураганы «Хьюго» (1989 г.) и «Эндрю» (1992 г.). Поскольку ряд метеорологических наблюдений в этой части страны не превышает 50 лет, ими охвачено слишком малое число сильных штормов, чтобы можно было судить об их повторяемости в каждом из пунктов побережья, где они особенно опасны.

Новую методику подобной оценки предложили К.-Б. Лю и М. Фирн (К.-Б. Liu, M. Fern; Университет штата Луизиана, Шривпорт, США). По их мнению, надежным индикатором таких событий может служить характер расположения осадочных слоев песка на дне озер: мощные штормы, подобно землетрясениям, должны на длительное время оставлять свои следы, нарушив прежние слои осадков морского мелководного происхождения. В озерах же, расположенных вблизи океана, они создают особо четко различимые донные слои, сформированные под воздействием ветра или штормовой воды.

Ученые изучили характер отложений на дне оз. Шелби в штате Алабама, вблизи Мексиканского залива, и заключили, что мощные ураганы происходят здесь в среднем каждые 600 лет. При этом за мощный ураган ими принят такой, при котором слой перемещаемого песка начинает достигать центра неглубокого озера. Так, ураган «Фредерик», обрушившийся на этот район в 1979 г. и отмеченный метеорологами к ка-

тегории 3, отложил песчаный слой только у ближайшей к берегу части оз. Шелби. Отсюда исследователи сделали вывод, что к середине озера песок забросить могут лишь ураганы категории 4 и 5. Можно полагать, что обнаруживаемые на дне озера слои песка возникают, когда центр сильного шторма проходит не далее чем в 50 км от озера. Методом радиоуглеродного датирования геологических пород авторы установили достаточно точное время прохождения каждого из таких мощных ураганов.

На все специалисты согласны с выводами Лю и Фирн. Так, метеоролог Г. Уонлесс (H. Wanless; Университет Майами, штат Флорида) указывает, что последствия урагана зависят не только от его интенсивности, но и от скорости перемещения. Например, ураган «Эндрю», несмотря на всю свою мощь, быстро переходил от места к месту и благодаря этому меньше воздействовал на среду, чем некоторые более слабые, но дольше пребывавшие в одной точке.

Анализ, проведенный Лю и Фирн, вызывает к жизни новую загадку: колонки изученного ими донного грунта свидетельствуют, что 3500 лет назад жестоких ураганов не отмечалось. Объясняют они это тем, что с тех пор произошли значительные климатические изменения, которые и создали условия для возникновения подобных катастрофических метеоявлений.

Geology. 1993. V. 21. N 9. P. 793 (США); New Scientist. 1993. V. 139. N 1892. P. 8 (Великобритания).

#### Палеонтология

### Вот это яйцо!

С ноября 1993 г. посетители Бостонского научного музея (штат Массачусетс, США) могут видеть яйцо, которое достигло в длину 43 см, а в ширину почти 15 см. Оно было найдено крестьянами в китайской провинции Хэнань лет 20 назад, но западные палеонтологи, знакомые с ним лишь по описаниям, долго отказывались тому верить.

Специалисты определили, что яйцо снесено многие десятки миллионов лет назад и принадлежит тарбозавру (*Tarbosaurus bataar*). Это был азиатский родственник гигантского ящера тираннозавра (*Tyrannosaurus rex*) — самого крупного и яростнейшего из хищников за всю историю Земли. Считалось, что этот тираннозавр населял только территории нынешних США и Канады, однако китайская находка заставляет усомниться в справедливости этого утверждения.

Осмотреть яйцо была приглашена видный палеонтолог Э. Брай (E. Bray; Музей при Университете штата Колорадо, Боулдер, США). Она признала подлинность выставленных на обзор нижних половинок огромной скорлупы. Что же касается нескольких других подобных же экспонатов, доставленных из Китая, то, по ее мнению, они аккуратнейшим образом склеены из остатков нескольких более мелких яиц динозавров (что подделка, если счастливицам платят в соответствии с размерами найденного им яйца).  
New Scientist. 1993. V. 140. N 1890.  
P. 12 (Великобритания).

## Археология

## Как спасти пещерные фрески!

В 1989 г. обнаружилось, что гибнут древние фрески знаменитых пещер Могао, расположенных на северо-западе Китая в районе Дуньхуань. Здесь находятся 492 пещеры и скальных укрытия, которые около тысячелетия использовались буддистскими монахами в качестве храмов (а в годы мятежей и войн — и для спасения беженцев). Помимо фресок тут можно найти и глиняные статуи, изваянные более тысячи лет назад.

Пути спасения этих образцов раннего искусства изыскивают сейчас совместными усилиями Дуньхуаньская академия и Институт консервации им. П. Гетти (названный в память известного калифорнийского миллиардера-мецената).

Показания установленных в пещерах приборов свидетельствуют, что концентрации там озона, оксидов азота и серы слишком низки, чтобы нанести ущерб живописи и скульптурам.

Зато кристаллизующиеся на стенах соли из подступающих подземных вод приводят к тому, что связь красок с каменной основой ослабевает и они местами осыпаются.

Кроме того, установлено, что мягкий песчаник, в котором вырублены пещеры, подвергается значительной эрозии от воздействия заносимых сильными ветрами песчинок. Теперь у входов в пещеры протянута ветроломная стена из вязаных тканей и растений пустыни, которая вдвое уменьшает силу ветра, попадающего внутрь. Ведутся наблюдения и за тем, какое влияние оказывает на эти все более популярные реликвии посещение пещер людьми.

New Scientist. 1993. V. 140. N 1895.  
P. 12 (Великобритания).

## КОРОТКО

По данным 1991 г., леса Финляндии поглощали столько же  $\text{CO}_2$ , сколько его поступало в атмосферу от выхлопов автомобильного транспорта. На душу населения в Финляндии приходится 4,7 га лесных площадей, в то время как в других промышленных странах Европы — 0,3 га, а в мире — 0,8 га. Финская лесная промышленность, включая целлюлозные и бумагоделательные предприятия, сейчас выбирает только 20 % серы от объема 1980—1981 гг. Поступления хлорированных углеводородов в водотоки снизились примерно на 20 % по сравне-

нию с 1986 г. Площади лесных массивов Финляндии продолжают расширяться, однако лесоперерабатывающие предприятия используют лишь около 50 % ежегодного прироста леса.

Environmental Science and Technology. 1993. V. 27. N 13. P. 2622 (США).

По статистике, в США в 1992 г. было зарегистрировано 2989 диверсий или их попыток с применением взрывных устройств; в числе таких инцидентов — взрыв во Все-

мирном торговом центре в Нью-Йорке и случай на АЭС «Три Майл Айленд», когда психически нездоровый человек, преодолев заграждения, прокрался на территорию атомной станции. В связи с этим Комиссия ядерного регулирования приняла меры по усилению безопасности на АЭС: уже во второй половине 1993 г. предполагалось ввести на 109 АЭС новые нормы, обеспечивающие прежде всего защиту от террористических актов. Затраты на выработку новых норм безопасности и их реализацию оцениваются в 1—1,5 млн. долл.

Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. 1993. № 8. С. 73.

Геологическая обсерватория им. Ламонта-Дозерти при Колумбийском университете, основанная в 1949 г. известным геофизиком Морисом Юингом (Maurice Ewing), пионером проведения геолого-геофизических исследований в океане, приобрела новое научно-исследовательское судно, которое и назвали в память об основателе обсерватории его именем. Это судно было построено в 1983 г. для компании «Петро-Канада ресурс» и называлось «Бернье», а в 1989—1990 гг. было полностью переоборудовано и стало в ряд наиболее крупных и современных по оснащению научной аппаратурой судов научно-исследовательского флота США. Оно способно охватить самый широкий круг геофизических исследований в океане.

Длина судна — 70 м, для научного персонала предусмотрено 28 мест, судовая команда — 22 человека.

Oceanus. 1992/93. V. 35. N 4. P. 10 (США).

После нескольких лет противостояния жителей города Сан-Диего, что в южной части штата Калифорния, и сотрудников известной Маунт-Паломарской астрономической обсерватории, расположенной в 70 км к северу от Сан-Диего, власти приняли решение: уличные фонари должны стать белыми.

Все дело в том, что городской свет так озаряет небо, что оптические наблюдения звезд становятся почти невозможными. До сих пор улицы города освещались желтовато-оранжевым светом газонаполненных ламп, который ученые умеют отфильтровывать. Между тем среди жителей Сан-Диего распространилось мнение, что неяркое желтое освещение «способствует» уличной преступности, и статистические данные как будто это подтверждают. Устав от борьбы с грабителями и насильниками, добродетельные калифорнийцы решили поступиться интересами изучения далеких звезд.

New Scientist. 1993. V. 140. N 1895. P. 12 (Великобритания).

По сообщению Дж. Кристи (J. Christy; Университет штата Алабама, США), средняя температура воздуха в июне 1993 г. оказалась ниже средней июньской за 20 лет наблюдений. В поясе Северного полушария — между Гавайскими островами, Кубой и Манилой (Филиппины) на юге и Ванкувером, Виннипегом (Канада) и Прагой на севере — температура июня была значительно ниже июньской нормы, рассчитанной за 10-летний период, с 1979 г. По мнению Кристи, почти рекордно холодный июнь обусловлен извержением вулкана Пинатубо в 1991 г., выбросившим в атмосферу огромное количество мельчайших частиц: отражая в околоземное пространство солнечную радиацию, с одной стороны, а с другой — поглощая тепло, отражаемое поверхностью Земли, они и вызвали заметное понижение температуры.

Environmental Science and Technology. 1993. V. 27. N 9. P. 1706—1707 (США).

Над номером работали  
Ответственный секретарь  
Л. П. БЕЛЯНОВА

Заместитель ответственного  
секретаря  
В. И. ЕГУДИН

Научные редакторы  
И. Н. АРУТЮНЯН  
О. О. АСТАХОВА  
М. Ю. ЗУБРЕВА  
Г. М. КАРАСЕВА  
Г. В. КОРОТКЕВИЧ  
Л. Д. МАЙОРОВА  
Н. В. УСПЕНСКАЯ  
О. И. ШУТОВА

Литературный редактор  
Г. В. ЧУБА

Художественные редакторы  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией  
И. Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор  
Е. Е. БУШУЕВА

Корректоры  
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА  
Л. В. БЕЛОВА

В художественном оформлении  
номера принимали участие  
В. С. КРЫЛОВА  
В. И. ЕГУДИН

Компьютерный набор  
М. Н. ГРИЦУК

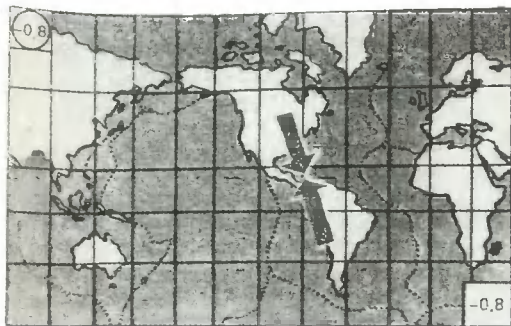
Адрес редакции:  
117810, Москва, ГСП-1  
Мароковский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 8.04.94  
Подписано в печать 19.05.94  
Формат 70×100 1/16  
Бумага типографская № 2  
Офсетная печать  
Усл. печ. л. 7,74,  
Усл. кр.-отт. 508,0 тыс.  
Уч.-изд. л. 11,5.  
Тираж 23680 экз.  
Зак. 2636

Ордена Трудового Красного  
Знамени  
Чеховский полиграфический  
комбинат  
Комитета Российской  
Федерации по печати  
142300, г. Чехов  
Московской области

# ПРИРОДА

## 6<sup>94</sup>



Памяти неформального лидера отечественной тектоники литосферных плит Л. П. Зоненшайна была посвящена очередная международная конференция, состоявшаяся в конце прошлого года в Подмоскowie. В ней приняли участие специалисты, представляющие разные направления в геологии, так или иначе связанные с новой глобальной теорией эволюции Земли.

### ТЕКТОНИКА ПЛИТ В «АКСАКОВСКИХ ЗОРИХ»

Казьмин В. Г., Натапов Л. М. ВЗГЛЯД В ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОШЛОЕ ЕВРАЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА

Муравьев К. Г. ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ РУДЫ ОКЕАНСКОГО ДНА

Левин Л. Э. НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ГЛУБОКИХ КОТЛОВИН МИРОВОГО ОКЕАНА

Юдин В. В. НОВАЯ МОДЕЛЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КРЫМА

Городницкий А. М. «ОДНА, НО ПЛАМЕННАЯ СТРАСТЬ»

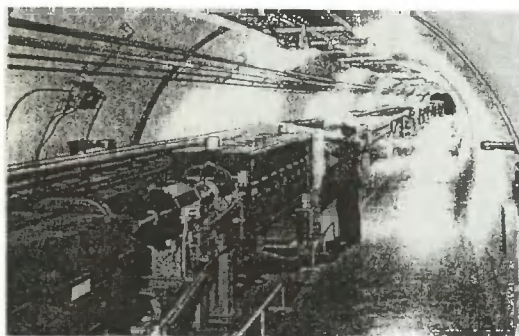


Приспосабливаясь к суровым жизненным условиям, растения разных таксономических групп не просто замедляют рост, оставаясь десятки, сотни и даже тысячи лет карликами. Они активно ветвятся, цветут и с годами приобретают очень своеобразную форму подушки.

### «ПОДУШКИ» ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

Хохряков А. П. АКТИВНАЯ, А НЕ ПАССИВНАЯ ЖИЗНЕННАЯ ФОРМА

Попов К. П., Сейфуллин Э. М. ПОДУШКОВИДНЫЕ РАСТЕНИЯ СРЕДНЕЙ АЗИИ



Электроядерный метод получения энергии и плутония был предложен еще в конце 40-х годов. Сейчас эта идея с подачи нобелевского лауреата К. Руббиня вновь в центре внимания физиков.

Барашенков В. С. «ЭЛЕКТРОЯД»: ИГРА СТОИТ СВЕЧА

Судьба Л. А. Зильбера, блистательного ученого и совершенно неординарного человека, — яркий пример того, как сила духа побеждает все внешние обстоятельства.

Киселев Л. Л., Абелев Г. И., Киселев Ф. Л. «КАК СИРАНО ДЕ БЕРЖЕРАК, ОН МОГ ГОРДИТЬСЯ БЕЛЫМ СУЛТАНОМ СВОЕГО БОЕВОГО ШЛЕМА»

Почему изумруд реже аквамарина, воробьевита, гелиодора и других бледноокрашенных разновидностей берилла? Какие геохимические условия благоприятны для его образования? Ответ на эти вопросы дает физико-химический анализ парагенезисов минералов.

Одицова Е. А. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ИЗУМРУДА

Индекс 70707

