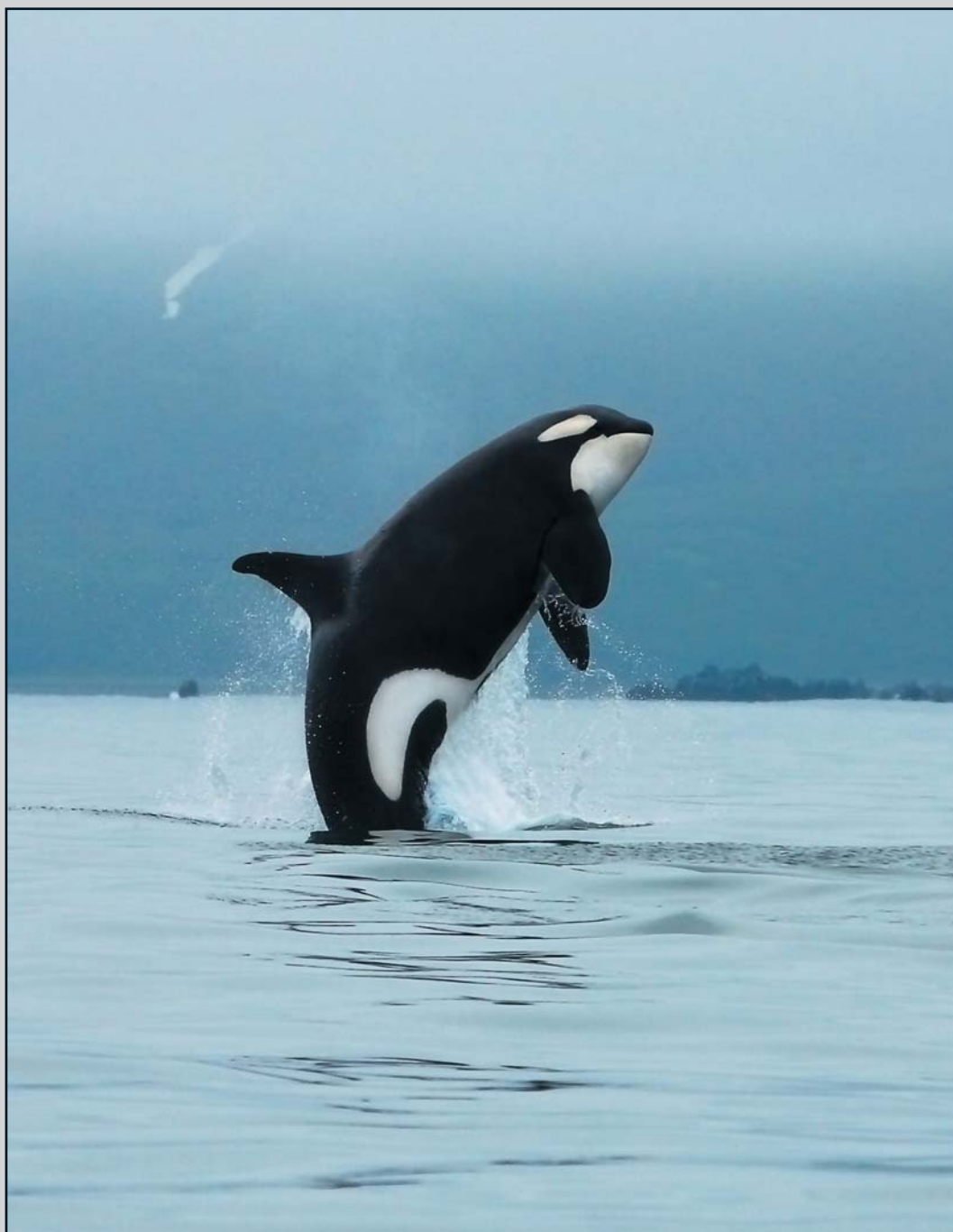


ПРИРОДА

5 13



В НОМЕРЕ:**3 Денисов Г.Г., Новиков В.В., Федоров А.Е.****Как твердое ядро Земли
сутки изменяет**

Опережающее вращение твердого ядра Земли относительно мантии и гравитационное взаимодействие между ними определяют долгопериодические (порядка 100 лет) колебания длительности суток.

10 Бялко А.В.**Землетрясения не возмущают
вращение Земли. А метеориты?****13 Алиев Р.Р.****Волны в сердце:
моделирование сердечного ритма**

У математического моделирования электрических процессов в сердце вековая история. Современные модели позволяют раскрыть тайны формирования сердечного ритма, недоступные экспериментальной кардиологии.

21 Яковлев Р.В., Гуськова Е.В.**Монгольский Алтай
глазами энтомологов**

Монгольский Алтай — юго-восточная часть Алтайской горной страны. До недавнего времени энтомофауна этого региона считалась бедной и была практически не изучена. А сегодня по результатам девяти комплексных ботанико-зоологических экспедиций выполнено его подробное зоогеографическое районирование.

**28 Филатова О.А., Ивкович Т.В., Шпак О.В.,
Борисова Е.А., Федутин И.Д.****Косатки — рыболовы и охотники**

Косаток считали неразборчивыми в еде хищниками, но оказалось, что одни из них охотятся только на рыб, а другие — на морских млекопитающих. Обнаружены у косаток и другие отличия, которые позволяют разделить их на разные экотипы или даже виды.

Вести из экспедиций**38 Сагалевич А.М.****Глубоководные обитаемые аппараты
«Мир» на Байкале****47 Андреева И.В., Силантьева М.М.****Сердце Кулунды****Заметки и наблюдения****55 Гафуров Ш.З., Дусманов Е.Н.****Пейзажный камень**

**Давыдько Р.Б., Махнатов С.А.,
Уткин М.М., Зотов Р.В.**

**Гигантские карстовые провалы
в Нижегородской области (59)****61 Щербаков Р.Н.****Девять лет из жизни
Огюстена Френеля****70 «ЭВОЛЮЦИОНИСТ, ГЕНЕТИК,
ХУДОЖНИК И ОТЧАЯННЫЙ
ПРАВООЩИТНИК»**

К 100-летию со дня рождения Р.Л.Берг

Киселев С.Л.

Преданная генетике (71)

Берг Р.Л.

**Геометрия живого и прогресс
Этюды о совершенстве (72)**

Горбунова В.Н.

Мы прозревали рядом с ней (79)

Фет В.Я.

**Фантастические — и человек,
и судьба (83)****88 Новые книги****Встречи с забытым****90 Белов С.В.****Последний конкистадор Британии**

CONTENTS:

- 3 Denisov G.G., Novikov V.V., Fedorov A.E.**
How Solid Core of the Earth Changes Day Duration

The advancing rotation of the solid core of the Earth relatively of the mantle and the gravitational interaction between them determine long-period (about 100 years) fluctuations in the length of day.

- 10 Byalko A.V.**
Earthquakes Do Not Disturb Earth Rotation. What about Meteorites?

- 13 Aliev R.R.**
Waves in the Heart: Computer Simulations of Heart Rhythm

Mathematical modeling of heart electric activity counts a centennial history. Modern models allow scientists to unveil unattainable for experimental cardiology mysteries of heart rhythm occurrence.

- 21 Yakovlev R.V., Guskova E.V.**
Mongolian Altai through Eyes of Entomologists

Mongolian Altai is south-eastern part of Altai highland. Up to recent, entomofauna of this region was considered indigent and was practically unexplored. But now due the results of nine complex botanical and zoological expeditions a detailed zoogeographic zoning of it was performed.

- 28 Filatova O.A., Ivkovich T.V., Shpak O.V., Borisova E.A., Fedutin I.D.**
Killer Whales – Fishers and Hunters

Killer whales were considered to be indiscriminating predators, but it turned out that some of them feed only on fish, while others hunt on marine mammals. Other differences were also found, allowing to divide them into separate ecotypes or even species.

Notes from Expeditions

- 38 Sagalevich A.M.**
Deep manned submersibles «Mir» at Baikal

- 47 Andreeva I.V., Silant'eva M.M.**
The Heart of Kulunda

Notes and Observations

- 55 Gafurov Sh.Z., Dusmanov E.N.**
Landscaping Stone

Davydko R.B., Makhnatov S.A., Utkin M.M., Zotov R.V.

- Giant Karst Failures in Nizhegorodskaya Oblast (59)**

- 61 Shcherbakov R.N.**
Nine Years from the Life of Augustin Fresnel

- 70 «EVOLUTIONIST, GENETICIST, ARTIST AND DESPERATE HUMAN RIGHTS ACTIVIST»**

To Centenary of R.L.Berg

Kiselev S.L.

- Devoted to Genetics (71)**

Berg R.L.

- Geometry of Life and Progress Etudes on Excellence (72)**

Gorbunova V.N.

- We Began to See Clearly beside Her (79)**

Fet V.Ya.

- Fantastic – both Person and Fortune (83)**

- 88 New Books**

Encounters with Forgotten

- 90 Belov S.V.**
The Last Conquistador of Britain

Как твердое ядро Земли сутки изменяет

Г.Г.Денисов, В.В.Новиков, А.Е.Федоров

Как понять, что скрывается внутри нашей планеты? В самые глубины мы можем «заглянуть» только дистанционными методами, и тут на помощь приходят сейсмические волны. Если бы Земля была однородной, то они распространялись бы в ее веществе прямолинейно и с постоянной скоростью. Изменение скорости вдоль сейсмического луча — направления распространения волны — указывает на неоднородность земных недр. В начале XX в. удалось показать, что поперечные волны, начиная с определенной глубины, распространяться в Земле не могут. На этом основании был сделан вывод о существовании ядра планеты, находящегося в жидком состоянии. Более поздние исследования уточнили строение и свойства недр Земли, которые по современным представлениям складываются из ряда сферических слоев, различающихся по физическим и химическим свойствам. Планета кружится в суточном ритме. А как при этом ведут себя ее «детали»?

Тонкости вращения

Для понимания многих явлений, в том числе рассматриваемых нами, достаточно упрощенно представить Землю телом, состоящим из трех слоев (рис.1):

— внешнего твердого почти шарового слоя (коры и мантии)

© Денисов Г.Г., Новиков В.В., Федоров А.Е., 2013



Геннадий Григорьевич Денисов, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ прикладной математики и кибернетики Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского. Область научных интересов — динамика твердого тела в силовых полях и механических систем с распределенными параметрами, прикладная и теоретическая гироскопия.



Валерий Вячеславович Новиков, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики того же университета, занимается исследованием устойчивости дискретных и распределенных механических систем, динамики вращающихся вязко-упругих тел, механических систем с внутренними резонансами.



Александр Евгеньевич Федоров, кандидат физико-математических наук, старший инженер по программному обеспечению Intel Corporation. Специалист в области механики и высокопроизводительных алгоритмов в компьютерной графике.

с наружным $r_1 \approx 6370$ км и внутренним $r_2 \approx 3470$ км радиусами и средней плотностью $\rho_1 \approx 5.5$ г/см³;

— жидкого внешнего ядра плотностью $\rho_2 \approx 10$ г/см³;

— твердого почти шарового тела (твердого ядра, с радиусом $r_3 \approx 1470$ км и плотностью $\rho_3 \approx 12.5$ г/см³).

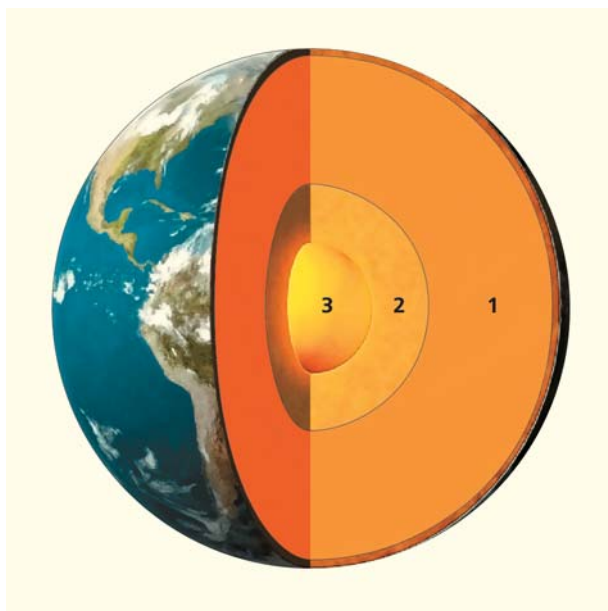


Рис.1. Строение Земли: 1 — внешний твердый слой (кора и мантия), 2 — жидкое внешнее ядро, 3 — твердое внутреннее ядро.

То, что называют угловой скоростью вращения Земли вокруг воображаемой оси, представляет собой характеристику вращения мантии, так как именно с наружной оболочки планеты астрономы регистрируют длительность суток. Вращательное движение твердого ядра в научной литературе обычно предполагалось либо синхронным с вращением мантии, либо отстающим от него. В 1996 г. журнал «Nature» опубликовал сообщение об одном из наиболее замечательных открытий последнего времени: оказывается, твердое ядро Земли опережает в своем вращении мантию, совершая в относительном движении один оборот за 180–900 лет [1]. Заметим, что подобное явление свойственно и Солнцу, ядро которого вращается быстрее, чем внешняя оболочка.

Вывод, что угловая скорость вращения твердого ядра несколько больше угловой скорости мантии, стал результатом скрупулезного анализа волн, вызванных мощными землетрясениями и прошедших путь через недра Земли от источника — эпицентра землетрясения — до станции наблюдения (рис.2). За первой работой последовали другие публикации, подтвердившие опережающее вращение твердого ядра. Отдельно отметим работу В.М.Овчинникова, В.А.Адушкина и В.А.Ана, в которой сейсмический отклик на подземные ядерные взрывы на Новой Земле изучался на станции Новолазаревская в Антарктиде [2]. Почти диаметрально противоположное расположение источника и приемника волн, точная информация о месте, времени и глубине залегания источника позволили существенно уточнить полученную ранее оценку. По мнению авторов, наиболее вероятная

скорость относительного вращения внутреннего ядра составляет $1.8\text{--}2.1^\circ$ в год, или 1 оборот за 170–200 лет.

Отметим, что временные ряды данных (в интервале около 30 лет), рассмотренные в [1, 2], охватывают лишь часть цикла определяемого вращения, которое к тому же предполагается равномерным. Поэтому, а также в силу сложности анализа данных выводы о величине угловой скорости твердого ядра следует рассматривать как весьма грубые оценки. Того же мнения придерживаются и авторы указанных работ. Тем не менее сам факт опережающего вращения ядра сомнений не вызывает.

Чтобы понять смысл этого результата, обратимся к простой модели. Условимся рассматривать Землю в виде двух твердых тел: коры и мантии (в дальнейшем для краткости будем называть их просто мантией), с одной стороны, и твердого ядра — с другой. Эти «детали» разделены слоем вязкой жидкости, замедляющим их относительное вращение.

Уравнения вращательного движения мантии и твердого ядра имеют вид:

$$I_m \frac{d\omega_m}{dt} = -b(\omega_m - \omega_n) - M,$$

$$I_n \frac{d\omega_n}{dt} = -b(\omega_n - \omega_m).$$

Здесь I_m и I_n — моменты инерции мантии и твердого ядра соответственно, ω_m и ω_n — их угловые скорости, а $d\omega_m/dt$, $d\omega_n/dt$ — угловые ускорения.

Правые части уравнений включают обусловленный вязкостью жидкого ядра момент внутренних сил сопротивления, пропорциональный разности угловых скоростей твердых тел, $\omega_n - \omega_m$; b — положительный коэффициент, характеризующий трение.

Первое уравнение содержит момент сил M , связанный с деформацией Земли под влиянием Луны и Солнца. Луна притягивает к себе различные части как водной оболочки, так и твердого

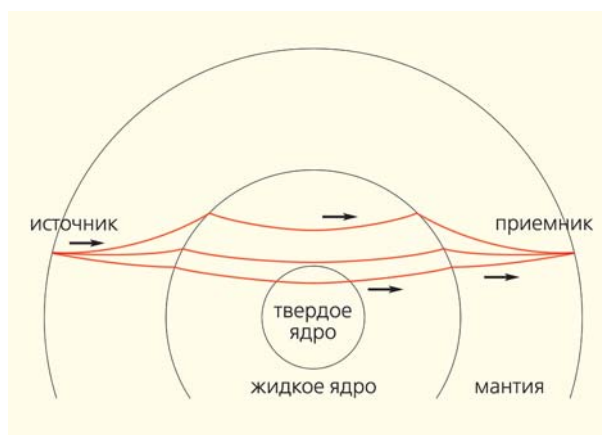


Рис.2. Распространение сейсмических волн внутри планеты.

тела Земли. Очень податливая к действию сил водная оболочка заметно вытягивается вдоль линии Земля—Луна, образуя приливные «горбы» по обе стороны от твердой Земли. Гравитационное поле Солнца приводит к сходной картине деформаций планеты, но их величина почти в два раза меньше. Луна и Солнце движутся относительно нас, вместе с ними приливная волна перемещается навстречу вращению Земли, испытывая трение о дно океанов и сопротивление со стороны материков (подробно об этом и других глобальных явлениях на Земле, см., например, в [3]). В нашей модели постоянное торможение определяет момент сил M , называемый приливым.

Силы тяготения Луны и Солнца порождают приливы и в твердом ядре Земли. Но в сравнении с мантией оно обладает заметно большей плотностью, поэтому менее податливо. Кроме того, момент M обусловлен в значительной степени смещением водной, а не твердой оболочки мантии. В силу этих обстоятельств приливной момент, действующий на твердое ядро Земли, во втором уравнении можно не учитывать.

Будем считать угловое ускорение постоянным и примем для замедления вращения мантии значение $d\omega_m/dt = -5.6 \cdot 10^{-22} \text{ с}^{-2}$ [4]. Из связи угловой скорости мантии ω_m и продолжительности суток $\omega_m = 2\pi/T$ находим $d\omega_m/dt = -2\pi/T^2 dT/dt$. Отсюда следует, что продолжительность суток, нарастая в постоянном темпе, за промежуток времени Δt увеличивается на $\Delta T = 4.81 \cdot 10^{-22} T^2 / 2\pi \Delta t$. Взяв $T = 86\,400 \text{ с}$ (солнечные сутки), получим, что за 100 лет систематическое торможение замедляет вращение мантии, увеличивая продолжительность суток на $2.01 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

Опережающее вращение твердого ядра оказывается очевидным результатом, вытекающим из уравнений. Приливное воздействие тормозит мантию, а ядро, двигаясь по инерции, опережает ее вращение. При этом разница угловых скоростей ограничивается наличием вязкости в жидком ядре.

Вычислим разность угловых скоростей ядра и мантии $\omega_n - \omega_m$. Разделим первое уравнение на I_n , второе — на I_m , а затем вычтем первое уравнение из второго. Приравняв нулю относительное угловое ускорение тел $d\omega_n/dt - d\omega_m/dt$, находим постоянную положительную разность угловых скоростей: $\omega_n - \omega_m = MI_n / b(I_m + I_n)$. При этом угловые скорости ω_n и ω_m уменьшаются с постоянным темпом так, что время одного оборота как мантии, так и ядра увеличивается на $2.01 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ за столетие.

Из решения задачи о движении вязкой жидкости, заполняющей пространство между двумя равномерно вращающимися сферами [5], имеем

$$b = 8 \frac{r_1^3 r_2^3}{r_1^3 - r_2^3} \eta,$$

где η — коэффициент динамической вязкости. Отсюда, с учетом связи $\omega_n - \omega_m$ с коэффициентом трения b , определим среднюю вязкость η в зави-

симости от разности угловых скоростей $\omega_n - \omega_m$. Наша модель, в предположении, что относительная угловая скорость твердого ядра $\omega_n - \omega_m = 2\pi/400 \text{ лет}$, впервые позволяет оценить среднюю динамическую вязкость жидкого ядра величиной $\eta = 0.7 \cdot 10^3 \text{ Па}\cdot\text{с}$ [6].

Принимая во внимание разброс в данных по периоду опережающего вращения твердого ядра (100—900 лет), укажем интервал вероятных значений средней вязкости жидкого ядра: $0.2 \cdot 10^3$ — $1.6 \cdot 10^3 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Следует иметь в виду, что в проведенных оценках не учитываются неоднородность в распределении температуры, плотности, давления в жидком ядре и зависимость вязкости от радиуса.

Отметим, что оценки вязкости жидкого ядра ранее драматически расходились — почти на 14 порядков: от значения $8.6 \cdot 10^{11} \text{ Па}\cdot\text{с}$, полученного из сейсмических исследований, до предсказываемой теорией жидких металлов величины $2.5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ [7].

Сколько длятся сутки?

Отвлечемся на время от движений внутри Земли и поговорим об особенностях вращения мантии, которое с очень большой точностью отслеживается астрономическими наблюдениями.

До середины XVIII в. вращение Земли задавало эталон времени. Время полного оборота планеты считалось неизменным. Но оказалось, что сутки весьма изменчивы, поскольку Земля на самом деле вертится неравномерно. Наблюдаются вековые, периодические, нерегулярные изменения скорости вращения (продолжительности суток). Эти вариации обнаруживают в астрономических обсерваториях, сопоставляя связанное с земным вращением неравномерное Всемирное время (среднее солнечное время нулевого меридиана) с другим, более равномерным временем.

До середины XX в. единственным более равномерным, чем Всемирное, было эфемеридное время, основанное на более стабильном, чем вращение Земли, орбитальном движении планет. Точность эфемеридного времени достаточна, чтобы находить изменения длительности суток в среднем за год. С появлением в 1955 г. атомных часов о неравномерности вращения Земли стали судить по отклонению земных суток от эталонных 24 часов, определяемых атомными часами. Последние позволяют регистрировать все колебания длительности суток. На рис.3 (кривая синего цвета) представлены измерения вариаций длительности земных суток, выполненные в Парижской обсерватории [8]. Отчетливо видны годовые и даже сезонные колебания. Выделенные из этой зависимости сезонные колебания на рисунке показаны отдельно (нижняя кривая). Осенью и зимой Земля вращается в среднем медленнее, чем весной и ле-

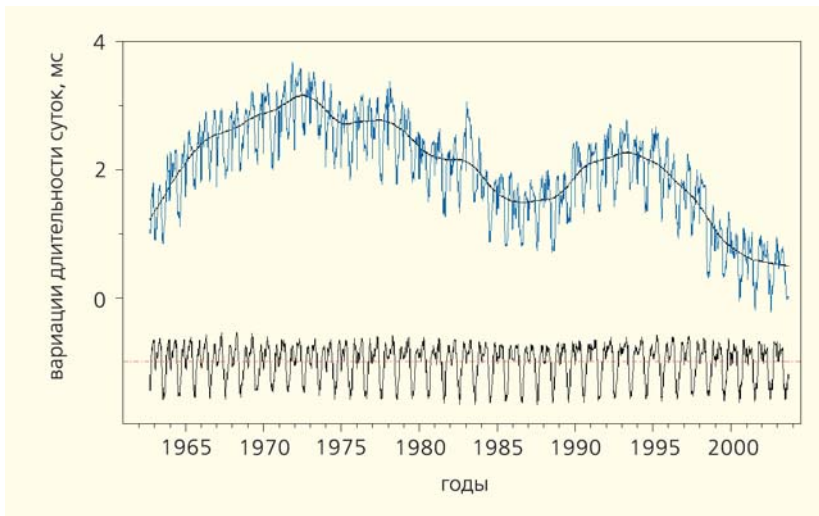


Рис. 3. Вариации длительности суток по измерениям, выполненным в Парижской обсерватории (показано синим цветом); сезонные колебания длительности суток (нижний график).

том, и эти колебания достигают $6 \cdot 10^{-4}$ с. Вместе с тем имеются не нашедшие до сих пор объяснения долгопериодические изменения скорости вращения мантии, когда в течение нескольких десятков лет наблюдается уменьшение скорости вращения, сменяющееся затем столь же длительным ее увеличением. Эти вариации угловой скорости существенно превосходят величину векового замедления вращения Земли, увеличивающего продолжительность суток на $2.01 \cdot 10^{-3}$ с за 100 лет. Данные о долгопериодических изменениях дли-

тельности суток почти за полтора века приведены на рис. 4: абсолютные величины (кривая синего цвета) и значения за вычетом роста суток с постоянной скоростью $2.01 \cdot 10^{-3}$ с за 100 лет (кривая зеленого цвета). Спектральный анализ нижней кривой рис. 4 показал, что наибольший вклад в нее вносят колебания с периодом ≈ 65 лет и амплитудой 0.8 мс. Следующая по значимости гармоника имеет период ≈ 130 лет и амплитуду 0.4 мс, остальные составляющие представлены существенно слабее. Еще раз отметим, что установленные по эфемеридному времени среднегодовые вариации длительности суток в период с середины XVIII в. до времени появления атомных часов можно считать достаточно точными.

К настоящему времени предложен целый ряд сложных гипотез о природе долгопериодических вариаций длительности суток. Среди них изменение предполагаемого электромагнитного взаимодействия мантии и твердого ядра, сопровождающееся обменом моментом количества движения между ними, изменение физических свойств (плотности, вязкости) жидкого ядра и т.д. Однако наличие внутри Земли мощного маховика — твердого ядра, вращающегося относительно мантии, открывает возможность объяснить долгопериодические изменения длительности суток в рамках простой механической модели [9, 10].

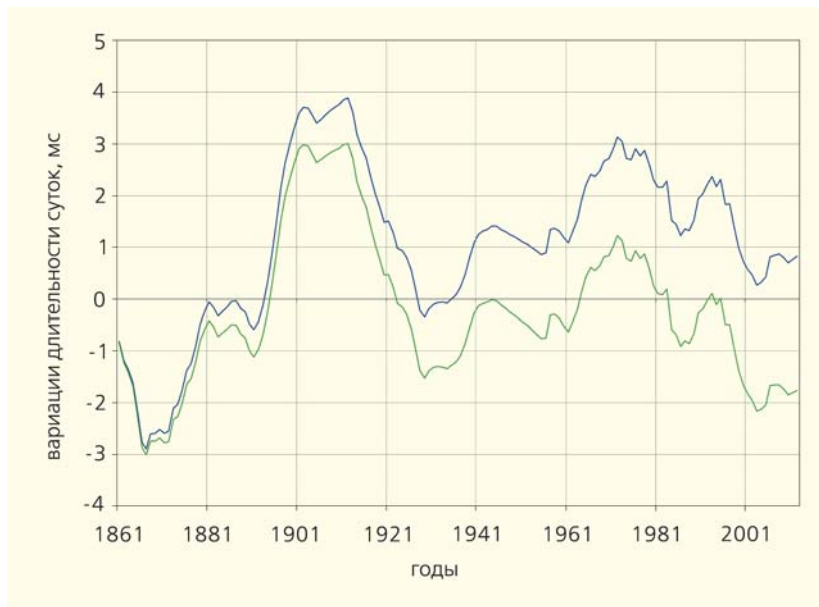


Рис. 4. Среднегодовые изменения длительности суток: наблюдаемые (синяя кривая) и рассчитанные за вычетом увеличения суток с постоянной скоростью $1.8 \cdot 10^{-3}$ с за 100 лет (зеленый цвет).

Что предлагает механика

Признаемся сразу, что в изложенной выше простой модели динамики мантии и твердого ядра долгопериодические вариации длительности суток все же не находят объяснения. В стационарном состоянии угловые скорости твердого ядра и мантии убывают из-за приливного момента M с постоянной скоростью, при этом разность угловых скоростей $\omega_n - \omega_m$ — постоянная положительная величина.

Поэтому попробуем чуть усложнить модель — откажемся от сферической симметрии. Будем представлять кору и ман-

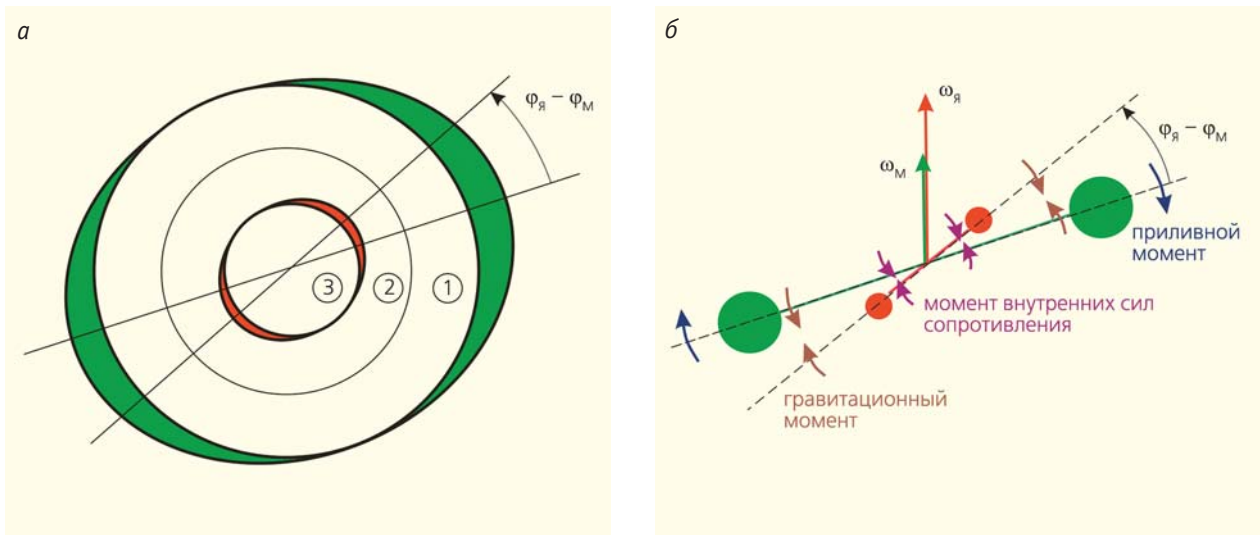


Рис.5. Экваториальный разрез Земли при взгляде с Северного полюса: 1 — мантия; 2 — жидкое ядро; 3 — твердое ядро (а). Гравитационное притяжение мантии и твердого ядра определяется лишь закрашенными элементами тел и зависит от угла $\psi = \varphi_n - \varphi_m$, характеризующего их взаимное положение. Моментное взаимодействие эллипсоидальных тел подобно взаимодействию двух гантелей, массы которых соответствуют закрашенным областям эллипсоидальных тел (б).

тию одним твердым телом с трехосной эллипсоидальной поверхностью, а твердое ядро — другим телом того же типа. На рис.5,а представлен экваториальный разрез Земли при взгляде с Северного полюса. В этом случае наряду с моментами вязких сил на движение тел должны влиять моменты гравитационных сил, обусловленные несферичностью взаимодействующих твердых тел. Суть дела в том, что при сферической симметрии обоих тел (или хотя бы одного из них) гравитационный момент между ними отсутствует. Пусть, например, внешнее тело представляет собой эллипсоидальную оболочку, а внутреннее тело — шар. Поскольку любые угловые положения шара внутри оболочки равнозначны, момент действующих на него гравитационных сил равен нулю, следовательно, и на оболочку гравитационный момент не действует. Эти соображения можно распространить и на вариант тела кругового сечения в экваториальной плоскости.

Иначе будет в том случае, когда сферической симметрией не обладают оба тела. Поясним это с помощью рис.5,а. Гравитационный момент определяется закрашенными элементами тел и зависит от угла $\psi = \varphi_n - \varphi_m$, характеризующего их взаимное положение (φ_n, φ_m — углы поворота твердого ядра и мантии, отсчитываемые от некоторого направления). Момент гравитационных сил приближенно можно записать в виде $\mu = k \sin(2(\varphi_n - \varphi_m))$, где k — постоянная величина. Чтобы лучше понять характер гравитационного взаимодействия, укажем, что моментное взаимодействие эллипсоидальных тел подобно взаимодействию двух гантелей (рис.5,б), массы которых соответствуют закрашенным областям эллипсоидальных тел.

Уравнения движения тел с учетом сказанного принимают следующий вид:

$$I_m \frac{d\omega_m}{dt} = -b(\omega_m - \omega_n) - k \sin 2(\varphi_m - \varphi_n) - M,$$

$$I_n \frac{d\omega_n}{dt} = -b(\omega_n - \omega_m) - k \sin 2(\varphi_n - \varphi_m).$$

Разделив первое уравнение на I_m , а второе — на I_n , вычтем одно из другого. С учетом того, что $\omega_n - \omega_m = d\varphi_n/dt - d\varphi_m/dt = d\psi/dt$ и $d\omega_n/dt - d\omega_m/dt = d^2\psi/dt^2$, получим уравнение, содержащее лишь одну неизвестную величину — $\psi = \varphi_n - \varphi_m$:

$$\frac{d^2\psi}{dt^2} + a \frac{d\psi}{dt} + b \sin 2\psi = m,$$

где $a = b(1/I_n + 1/I_m)$, $b = k(1/I_n + 1/I_m)$, $m = M/I_m$.

Это уравнение описывает изменение со временем угла ψ , характеризующего относительное положение твердого ядра и мантии. Оно эквивалентно уравнению движения маятника, находящегося под действием постоянного момента. В зависимости от значений параметров a, b, m это движение демонстрирует весьма разнообразную динамику. Мы будем интересоваться лишь поведением «маятника» в случае, когда эти величины соответствуют системе мантия — твердое ядро Земли.

Два сценария

Качественную картину динамики системы определяют ее установившиеся состояния, так как все возможные движения системы стремятся к тому или иному из них.

Начнем с довольно очевидного. «Маятник» находится в состоянии равновесия, когда все изменения во времени отсутствуют, т.е. $d^2\psi/dt^2 = 0$, $d\psi/dt = 0$, что дает $\psi = \psi_0 = \text{const}$. Точки покоя задаются уравнением $b\sin^2\psi_0 = m$. Для Земли справедливо неравенство $m/b < 1$, которое равносильно неравенству $k > MI_n / (I_m + I_n)$. Одно из решений $\psi_0 = \alpha = 1/2 \arcsin m/b$ определяет интересующее нас установившееся состояние системы: твердое ядро занимает неизменное положение относительно мантии, при этом скорость их общего вращения из-за приливного момента монотонно убывает со временем. Если обратиться к модели с гантелями, то состоянию $\psi_0 = \alpha$ отвечает синхронное вращение гантелей. Угол между ними постоянен и равен α . Малые возмущения этого взаимного положения тел (гантелей) приводят лишь к малым затухающим колебаниям мантии и ядра. Подчеркнем, что синхронное вращение ядра и мантии возможно лишь при достаточно больших значениях гравитационного момента.

Более интересно, однако, другое установившееся движение системы. Найти это решение не столь просто, как в предыдущем случае, поэтому ограничимся изложением результата.

Угол ψ совершает незатухающие колебания, не зависящие от начальных условий, — так называемые автоколебания. Этому движению в системе мантия — твердое ядро отвечают незатухающие обороты внутреннего тела относительно внешнего (короткой гантели относительно длинной), попеременно ускоряющиеся и замедляющиеся. Когда в относительном вращении твердое ядро замедляется, мантия ускоряется, и наоборот. Твердое ядро и мантия по очереди обмениваются моментом количества движения. Период цикла равен половине времени полного оборота ядра в относительном движении. Подчеркнем, что незатухающим остается лишь относительное движение мантии и твердого ядра. Вместе с тем движение каждого из тел испытывает одинаковое замедление за счет приливного сопротивления.

В отличие от синхронного режима движения, автоколебания в системе мантия — твердое ядро не обусловлены какими-либо ограничениями на величину гравитационного взаимодействия между телами. Тем не менее малый гравитационный момент не объясняет наблюдаемый размах долгопериодических изменений угловой скорости вращения Земли. Поэтому будем исходить из того, что гравитационный момент достаточен для обеспечения как синхронного

вращения тел, так и автоколебаний, в которых твердое ядро опережает мантию. Понятно, что это опережение будет зависеть от угла ψ , что приводит к неравномерному относительному движению. Большой разброс в оценках относительной скорости вращения твердого ядра в научных публикациях объясняется не только неточностью измерений, но и указанным обстоятельством.

Таким образом, твердое ядро либо неподвижно относительно мантии (первое решение), либо опережает мантию во вращении (второе). Отставание ядра невозможно. Какой случай из двух качественно различных ситуаций реализуется? Все зависит от предыстории системы (начальных условий). Для Земли она такова, что установился автоколебательный режим, который и лежит в основе долгопериодических изменений длительности суток.

Применительно к Земле все параметры, входящие в уравнения движения, известны или приближенно оценены, за исключением коэффициента гравитационного взаимодействия k и периода вращения твердого ядра Земли относительно мантии T_* . Если опереться на известные точные измерения скорости вращения Земли за период с 1955 по 2012 г. (рис.3), можно подобрать параметр k и период T_* так, чтобы решение уравнений движения наилучшим образом соответствовало измерениям. Расчет дает $T_* \approx 130$ лет, а $k = 5.9 M$, т.е. момент гравитационного взаимодействия мантия—ядро должен в 5.9 раза превышать приливной момент. На рис.6 показаны долгопериодические вариации длительности суток — наблюдаемые (зеленый цвет) и расчетные (синий цвет).

В действительности гравитационное взаимодействие мантии и твердого ядра имеет более сложный характер. Поэтому в качестве следующего шага, приближающего модель к реальному объ-

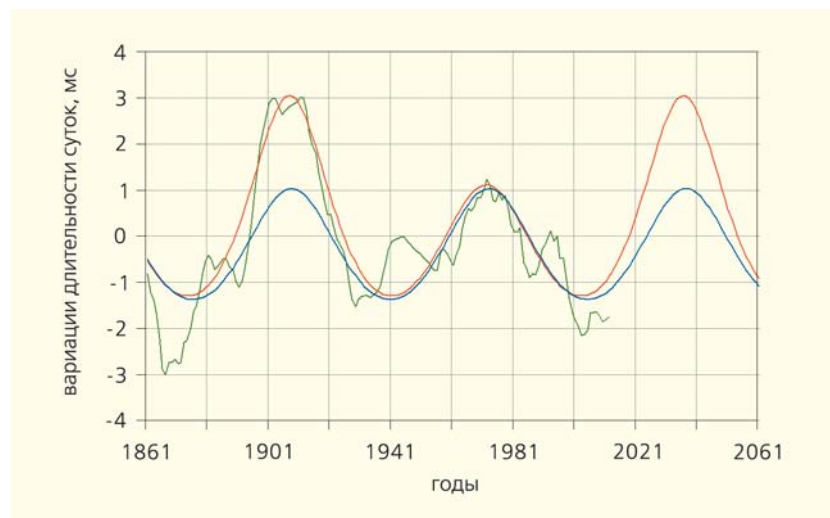


Рис.6. Долгопериодические вариации длительности суток: наблюдаемые (показаны зеленым цветом) и рассчитанные по модели с одной (синим цветом) и двумя (красным цветом) гармониками.

екту, следует ввести в уравнения движения наряду с основной (второй) гармоникой момента гравитационного взаимодействия $\mu = k \sin(2(\varphi_m - \varphi_a))$ еще и первую гармонику $\mu_1 = k_1 \sin(\varphi_m - \varphi_a)$. Эта гармоника возникает, если учесть несовпадение центров вращения мантии и твердого ядра. При численном решении уточненной задачи параметры k , k_1 вновь варьировались так, чтобы результат наилучшим образом приближался к данным инструментальных наблюдений за длительностью суток. Результаты такого расчета приведены на рис.6 (показаны красным цветом), им отвечают $k = 3.6M$, $k_1 = -1.7M$.

Осталось ответить на последний вопрос: обеспечивает ли в действительности гравитационное взаимодействие необходимое значение момента сил? Для оценки момента мы необходимыми сведениями о Земле располагаем (за исключением данных об эллипсоидальности твердого ядра). Разумно предположить, что относительные характеристики эллипсоидальности (отношение полуосей) твердого ядра такие же, как у Земли в целом. Необходимо также иметь в виду, что жидкое ядро ослабляет гравитационное взаимодействие. В частности, если бы оно имело плотность, равную плотности твердого ядра, то гравитационный момент вообще бы отсутствовал, так как форма твердого ядра в этом случае не сказывается на взаимодействии. Проведенная с учетом этих факторов оценка позволяет утверждать, что гравитационный момент, превышающий в несколько раз приливной момент, достижим.

В зависимости от целей исследования используют различные геометрические модели Земли, рассматривая их как последовательные приближения к истинной форме планеты. Первое приближение — сфера, второе — эллипсоид вращения. Подчеркнем, что в нашем случае речь идет о третьем приближении — трехосном эллипсоиде, когда экваториальное сечение Земли представляется эллипсом (рис.5,а), разность полуосей которого составляет для мантии около 200 м. Это отклонение от эллипсоида вращения и подобная эллипсоидальность твердого ядра определяют гравитационный момент. Оценки величины параметра k , о которых говорилось выше, показывают, что для ядра разность полуосей в экваториальном сечении должна составлять порядка 10 м. Именно учет разности экваториальных полуосей составляет суть модели.

Дополнительный бонус

До сих пор жидкое ядро, упрощенно представленное однородной вязкой средой, рассматривалось лишь в качестве связующего звена между двумя твердыми телами — мантией и ядром. Решение задачи о течении вязкой жидкости, которая заполняет пространство между поверхностями, враща-

ющимися с различными угловыми скоростями, обнаруживает черты, которые можно соотнести со свойствами магнитного поля Земли [11].

На поверхности Земли наблюдается западный дрейф структурных особенностей (недипольной составляющей) магнитного поля в приэкваториальных широтах, происходящий со скоростью 0.2° в год, а в средних и высоких широтах такой дрейф отсутствует [12]. Именно из-за западного дрейфа магнитных особенностей ранее ошибочно считали, что твердое ядро вращается медленнее мантии [13]. Это поведение подобно обнаруженному в нашей модели течению жидкости. Подчеркнем, что течение имеет место при опережающем вращении твердого ядра и учете его эллипсоидальности.

Во вращающейся вместе с внешней поверхностью системе координат переменная часть скорости течения изменяется со временем периодически с частотой $2(\omega_1 - \omega_2)$. Из объяснения долгопериодических изменений угловой скорости вращения Земли следует, что в относительном движении твердое ядро совершает один оборот примерно за 120 лет, т.е. $\omega_1 - \omega_2 \approx 2\pi/120$ лет. Отсюда заключаем, что временные изменения скорости течения происходят с периодом около 60 лет. Здесь обнаруживается еще одно сходство полученного течения жидкости между вращающимися поверхностями с поведением магнитного поля Земли. Ведь во временном спектре вековых магнитных вариаций отчетливо наблюдается составляющая именно с периодом порядка 60 лет [12]!

Следует отметить, что гидродинамическая задача решена в предположении ламинарного режима течения жидкости. Оценка числа Рейнольдса по средней вязкости жидкого ядра и угловой скорости вращения твердого ядра относительно мантии дает $Re \sim 10^3 - 10^4$. Такое значение числа Рейнольдса характеризует режим движения жидкости как промежуточный между ламинарным и турбулентным. Тем не менее это не исключает возможность представленных особенностей течения жидкости.

Итак...

Подведем итог. Предложена простая механическая модель для объяснения долгопериодических (~100 лет) изменений скорости вращения Земли. Суть ее состоит в учете двух факторов: гравитационного взаимодействия мантии с твердым ядром и опережающего вращения ядра относительно мантии. Выяснилось, что движение твердого ядра относительно мантии неравномерно, и Земля поэтому может считаться колоссальным механическим осциллятором, находящимся в автоколебательном режиме. При относительном движении эллипсоидальность гравитационно взаимодействующих тел определяет периодический обмен моментом количества движения между мантией и

твердым ядром, что и приводит к долгопериодическим изменениям длительности суток.

Если более тщательное сопоставление данных измерений с результатами расчетов и более длительное наблюдение за скоростью вращения Земли подтвердят сделанные здесь выводы, то

— будет существенно уточнен период вращения твердого ядра относительно мантии (≈ 125 — 135 лет против 180 — 900 лет [1] или 170 — 200 лет [2]);

— станет возможной существенно более точная оценка вязкости жидкого ядра Земли;

— появится возможность долгосрочного прогноза длительности суток;

— будет оценен гравитационный момент между ядром и мантией, времена его максимального значения и связанные с этим периодически изменяющиеся напряжения внутри Земли — источники землетрясений;

— утвердится представление о твердом ядре как о теле с трехосным эллипсоидом инерции с оценкой его моментов инерции.

Ждем новой информации... ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 12-01-00314.

Литература

1. Song X., Richards R.G. Seismological evidence for differential rotation of the Earth's inner core // Nature. 1996. V.382. №6588. P.221.
2. Овчинников В.М., Адушкин В.В., Ан В.А. О скорости относительного вращения внутреннего ядра Земли // Докл. РАН. 1998. Т.362. №5. С.683—686.
3. Бялко А.В. Наша планета Земля. М., 1983.
4. Жарков В.Н. Геофизические исследования планет и спутников. М., 2003.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. VI: Гидродинамика. М., 1986.
6. Денисов Г.Г., Новиков В.В. Об оценке вязкости жидкого ядра Земли // Докл. РАН. 1998. Т.362. №4. С.484—485.
7. Secco R.A. Viscosity of the outer core // Mineral Physics & Crystallography: A Handbook of Physical Constants (AGU Reference Shelf). V.2 / Ed. T.J.Ahrens. Washington, 1995. P.218.
8. <http://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html>
9. Денисов Г.Г., Новиков В.В., Федоров А.Е. О долгопериодических вариациях угловой скорости вращения Земли // Докл. РАН. 2005. Т.400. №5. С.625—629.
10. Денисов Г.Г., Новиков В.В., Федоров А.Е. Гравитационное взаимодействие твердого ядра с мантией Земли и вариации длительности суток // Астрономический журнал. 2008. Т.85. №12. С.1143—1150.
11. Денисов Г.Г., Новиков В.В. О течении жидкости между вращающимися поверхностями // ПМТФ. 2011. Т.52. №1. С.40—46.
12. Физическая энциклопедия. Т.2 / Гл. ред. А.М.Прохоров. М., 1990. С.70.
13. Монин А.С. Вращение Земли и климат. Л., 1972.

Землетрясения не возмущают вращение Земли. А метеориты?

А.В.Бялко,

доктор физико-математических наук
Москва

Сразу после Великого японского землетрясения 9 марта 2011 г. средства массовой информации поторопились сообщить, что оно сместило земную ось, а продолжительность суток заметно изменилась. Эти утверждения ошибочны.

С теоретической точки зрения никакое выделение энергии в земных недрах не может повлиять на вращение планеты. Причина такой устойчивости проста: внутренние силы в точности компенсируют друг друга и, таким образом, не создают момента сил, необходимого для воздействия на вращение тела как целого.

Продолжительность суток в принципе могла бы немного уменьшиться после землетрясения за счет сдвига пород или их уплотнения, эти процессы снижают момент инерции планеты, и она начинает вращаться быстрее. Нетрудно, однако, оценить, что данный эффект ничтожно мал даже при крупнейших землетрясениях.

Рецензируя предыдущую статью (с.3–10), посвященную движению твердого ядра Земли, я обратился к базе данных*, в которой представлены ежесуточные измерения скорости вращения планеты и положения ее полюсов, с целью не столько даже проверить утверждения о ничтожности воздействия землетрясений, сколько попробовать разобраться, как возникло упомянутое недоразумение.

Но вначале надо кратко упомянуть, как получают высокоточные данные об ориентации земной оси и продолжительности суток. С появлением радиотелескопов в начале 50-х годов прошлого века были обнаружены квазары — мощные источники радиополучения из ядер молодых галактик, удаленных на колоссальные расстояния. Эти «маяки» служат репером звездного неба, неподвижными точками для отсчета угловых измерений. Если наводить на квазары одновременно несколько удаленных друг от друга телескопов и сравнивать их сигналы, то образующаяся интерференционная картина позволяет получить угловое разрешение с точностью порядка 10^{-3} угловой секунды — точностью, недоступной обычной астрономии. Радиointерференционные измерения возможны в любое время суток, им не мешает облачность, бич оптической астрономии. Регистрация момента наблюдения заданного квазара с помощью атомных часов позволяет с микросекундной точностью измерять продолжительность физических суток, т.е. одного оборота Земли.

Посмотрим на перемещение полюсов в течение шести последних лет (рис.1). Это движение вызвано как гравитационными возмущениями Луны и Солнца, так и собственными колебаниями земной оси, проявляющимися в том случае, если ось вращения не совпадает с главной осью инерции. Период этих механических колебаний вы-

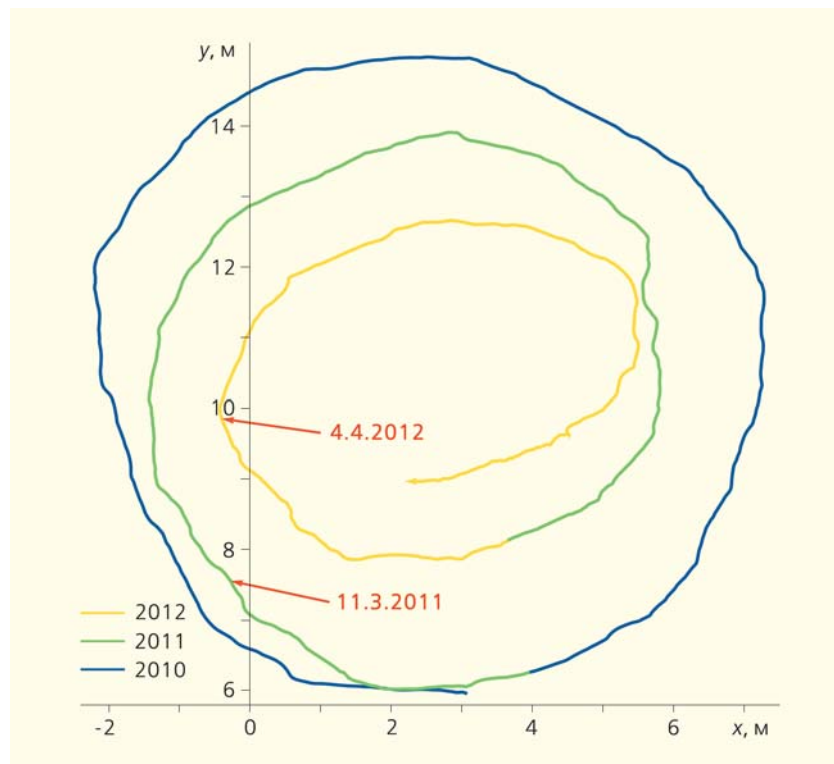


Рис.1. Перемещение оси вращения Земли относительно географического полюса за последние три года (кривые разного цвета). В моменты крупнейших землетрясений (красные стрелки) никаких аномальных отклонений не наблюдалось.

числил Л.Эйлер, для Земли он равен 305 сут. Его несовпадение со средним периодом наблюдаемых колебаний земной оси, 435 сут, называемых чандлеровскими по имени их открывателя, вызвало широкую научную дискуссию в конце XIX в., точку в которой поставил авторитетный астроном С.Ньюкомб. Его объяснение, состоящее в том, что в теории Эйлера не учтена упругость Земли, было по сути верным, но с сегодняшней высоты знаний несколько неполным. Причина сложного движения оси планеты в том, что тело Земли откликается на движение Луны, мягко перераспределяются массы и варьируется момент инерции. В краткосрочном масштабе времени этим откликом служат приливные волны, а в долгосрочном — смещения масс, в частности, и движение твердого ядра, описанное в предыдущей статье.

За последние три года кроме Великого японского землетрясения случились еще два события сравнимой мощности. В один и тот же день 4 апреля 2011 г. с интервалом в 6 часов в Индийском океане вблизи Индонезии произошли землетрясения с магнитудами 8.6 и 8.2**. На графике перемещения полюса (рис.1) видно, что в дни круп-

* www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html

** http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic_global.php

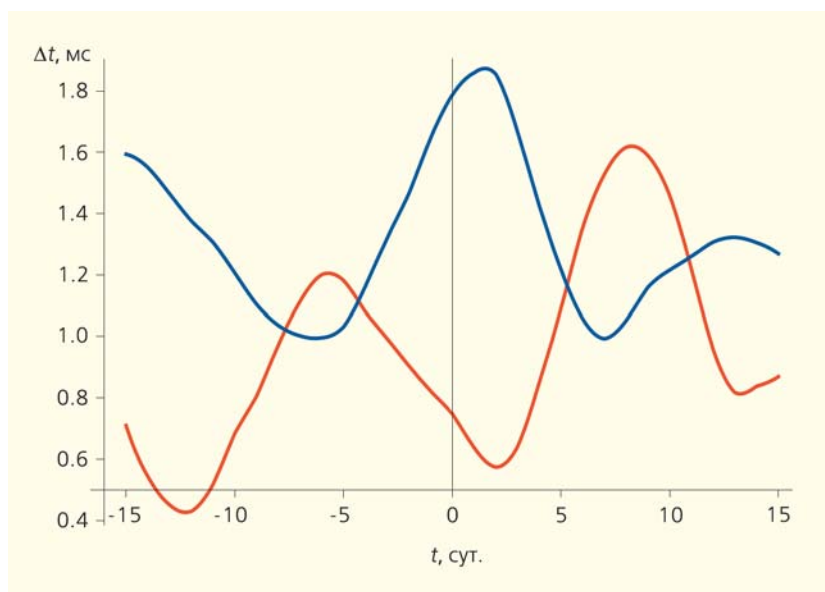


Рис.2. Вариации длительности физических суток за 15 дней до и после крупнейших землетрясений. Синяя кривая отражает изменения скорости вращения Земли вблизи 11 марта 2011 г., красная — вблизи 4 апреля 2012 г. Квазипериодические колебания кривых вызываемые ускорением Земли под действием меняющегося притяжения Луны.

нейших тектонических подвижек с осью планеты ничего особенного не происходит. Точно так же плавно менялась в дни землетрясений и продолжительность физических суток (рис.2). Ее изменения с амплитудами порядка миллисекунды и характерным периодом в 14 сут очевидно вызваны вариациями притяжения Луны. При ее приближении к перигею и апогею возникает небольшое перераспределение моментов вращения Земли и Луны.

Подчеркнем еще раз: землетрясения принципиально не могут повлиять на вращение планеты, поскольку внутренние силы, вызываемые выделением энергии в недрах, при вычислении суммарного момента сил в точности компенсируют друг друга. Внезапные возмущения вращения Земли могли бы происходить в результате внешнего воздействия — например, падения метеоритов. Заранее очевидно, что сказаться на вращении планеты может только ее столкновение с очень крупным астероидом. Но попробуем оценить это воздействие на конкретном примере.

15 марта этого года вблизи Челябинска произошло событие, ставшее, по-видимому, наиболее значительным после Тунгусской катастрофы 1908 г. Падение метеорита Чебаркуль (по имени озера, на ледовой поверхности которого остался след удара) было зарегистрировано многими современными средствами. Анализ данных продолжается, и мы надеемся опубликовать их результаты после завершения обработки. Но грубая оценка воздействия этого события на вращение планеты возможна уже сейчас.

Метеорит появился с востока сразу после восхода солнца и взорвался на высоте около 30 км, оставив облачный след на ясном небе. По движению теней предметов, зафиксированному видеокамерами, была вычислена его скорость: $v \sim 17\text{--}17.5$ км/с. Инфразвуковая акустическая волна от взрыва была отмечена на больших расстояниях. Срав-

нение ее воздействия с последствиями ядерных взрывов позволило определить мощность явления: она составила 0.4 мегатонны тротилового эквивалента, или $1.5 \cdot 10^{15}$ Дж. Отсюда массу этого небольшого астероида можно оценить как $m \sim 10^7$ кг, что соответствует характерному размеру в 17 м.

Механический момент, переданный Земле при падении этого небесного тела, можно оценить как $M_a \sim mVR_E \sim 10^{18}$ кг·м²/с. Поскольку метеорит прилетел с востока по почти касательной траектории, он немного ускорил вращение планеты с радиусом $R_E = 6.4 \cdot 10^6$ м. Чтобы оценить его воздействие на продолжительность суток, которые в среднем равны $T = 86\,400$ с, надо сравнить переданный им момент с механическим моментом вращения Земли $M_E = 6 \cdot 10^{33}$ кг·м²/с. Вызванное метеоритом возмущение длительности суток оказывается много меньше возможной точности его обнаружения $\delta T \sim TM/M_E \sim 1.5 \cdot 10^{-11}$ с.

Так стоило ли оценивать то, что интуитивно было очевидно заранее? Переадресуем этот вопрос читателям. ■

Волны в сердце:

моделирование сердечного ритма

Р.Р.Алиев

Наша сердца бьются то чаще, то замирают, а случается, ритм становится нерегулярным... Что влияет на его формирование в норме и при патологии? Очевидно, что изучение этих процессов не столь важно для удовлетворения научного любопытства, сколь критично для понимания течения болезни, что, в свою очередь, необходимо для поиска средств лечения людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями*. Нельзя забывать, что именно они, по данным Всемирной организации здравоохранения, одни из главных причин смертности людей в развитых странах.

Ключевую роль в работе сердца играют электрические явления, которые подчиняются хорошо известным законам физики. А значит, можно рассматривать генерацию сердечного ритма как работу электрической машины и описывать с помощью математических моделей. Это особенно важно для кардиологии, ведь эксперименты с сердцем человека, да и лабораторных животных, трудоемки, дороги и не всегда оправданы с этической точки зрения.

* Подробнее см.: Камкин А.Г., Киселева И.С., Ярыгин В.Н. Фибрилляция, дефибрилляция... // Природа. 2002. №4. С.6–16; Розентраух Л.В. Экспериментальная электрофизиология сердца в создании новых препаратов // Природа. 2012. №8. С.10–16.



Рубин Ренатович Алиев, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН, профессор кафедры вычислительной математики Московского физико-технического института. Область научных интересов — нелинейная динамика биологических систем, электрическая активность сердца и мозга.

От концептуальных моделей к детальным

Предпосылки для создания моделей генерации ритма сердца возникли одновременно с пониманием того, что синхронизируют сокращения его отделов (предсердий и желудочков) электрические импульсы — потенциалы действия. Распространяясь в сердце, они информируют клетки (кардиомиоциты) о необходимости сокращения. Сердечная ткань (миокард) отвечает на стимуляцию по принципу «все или ничего»: если раздражитель меньше пороговой силы, никакой электрической реакции не будет («ничего»), но надпороговый раздражитель, какой бы силы он ни был, всегда будет вызывать максимальный потенциал действия («все»). Эту идею, высказанную еще полтора века назад Г.Бюидичем, использовал известный американский математик, основоположник киберне-

тики, Н.Винер. В 1946 г. он вместе с мексиканским физиологом А.Розенблютом разработал первую компьютерную модель возбуждения миокарда и использовал ее как инструмент для исследования фибрилляции сердца [1]. Строго говоря, компьютерные реализации этой модели появились несколько позже, но именно 1946 г. стоит рассматривать как стартовую точку в компьютерном моделировании электрической активности сердца, годом проникновения кибернетики в биологию и медицину.

В модели Винера-Розенблюта в каждой клетке среды аксиоматически задавались состояния покоя, возбуждения и рефрактерности (от лат. refractarius — невосприимчивый). В любой момент времени клетка могла находиться в одном из трех состояний. Столь гениально ясные, но все же упрощенные представления о функциониро-

вании кардиомиоцитов, разумеется, не позволили полностью решить проблему фибрилляции. Но они сыграли решающую роль в формировании математического языка для описания распространяющихся волн возбуждения в миокарде и заложили основы для более детальных моделей.

Простота в понимании и применении, низкая требовательность к вычислительным ресурсам — отличительные черты не только модели Винера-Розенблюта, но и всех других так называемых *концептуальных моделей*. Их привлекательность и широкое распространение в 50—80-х годах прошлого столетия обусловлены тем, что подобные модели описывают суть, концепцию явления, и потому применимы и для конкретного объекта, для которого создавались, и для широкого класса схожих явлений.

Столь универсальные и одновременно простые модели привлекли внимание физиков, успешно развивавших в конце прошлого века концепцию автоволн. Например, различные модификации концептуальной модели Р.ФитцХью и Дж.Нагумо [2, 3], состоящей всего из двух дифференциальных уравнений, до сих пор используются при моделировании различных физико-химических процессов: волн в реакции Белоусова-Жаботинского, распространения нервного импульса, потенциала действия в миокарде и т.д. Интересно, что общность процессов в химической реакции Белоусова-Жаботинского и электрических процессов в сердце позволила усовершенствовать модель ФитцХью-Нагумо для лучшего описания сердечных импульсов [4, 5]. Однако к настоящему времени разработаны модели другого типа, которые позволяют более детально описывать электрическую активность сердца [6].

Современная кардиология предъявляет высокие требования к качеству моделирования:

часто необходимо сопоставлять рассчитанные на компьютере величины с данными лабораторных экспериментов и клинических испытаний. Для этих целей в последние годы используют *детальные модели*, которые в англоязычной литературе часто называют «ionic models», поскольку в них учтены ионные токи через мембрану и внутриклеточный ионный гомеостаз*. Принципы построения таких моделей заложили британские ученые А.Ходжкин и Э.Хаксли, удостоенные в 1963 г. Нобелевской премии за исследование ионных механизмов распространения нервного импульса [7].

Понятно, что сейчас, более полувека спустя, знания о распространении возбуждения в сердечной ткани и проводимости мембранных каналов значительно расширились. Для изучения потенциала действия в кардиомиоцитах была необходима модель, которая включала бы описание не трех мембранных токов (натриевого, калиевого и тока утечки), как в модели Ходжкина-Хаксли, а около двух десятков [6, 8]. Кроме того, должны быть учтены динамика ионов в цитоплазме кардиомиоцитов (саркоплазме) и элементы внутриклеточной сигнализации. Естественно, плата за качественно иные результаты и высокую точность немалая: для сложных моделей, содержащих до сотни дифференциальных и алгебраических уравнений, требуются значительные вычислительные ресурсы. На современных персональных компьютерах возможен расчет детальной модели лишь одиночного кардиомиоцита; для расчета пусть даже небольшого (в несколько кубических миллиметров) участка миокарда, как правило, требуется суперкомпьютер.

Ясно, что адекватное моделирование кардиомиоцитов составляет лишь часть общей зада-

* Подробнее см.: Камкин А.Г., Киселева И.С., Ярыгин В.Н. Новый тип ионных каналов // Природа. 2002. №3. С.13—19

чи — разработки детальной и реалистичной модели работы миокарда. В ней необходимо учитывать еще и передачу электрического возбуждения между клетками сердца через особые каналы — щелевые контакты, а также простую топологию, неоднородности и анизотропию миокарда [6]. Схему современной компьютерной модели сердца можно представить в виде трех блоков: 1 — генерация потенциала действия кардиомиоцитами, 2 — связь между ними (или между их блоками при менее детальном моделировании), 3 — подходящая геометрия модельной среды (рис.1).

Реалистичная модель

За последние годы для изучения распространения потенциала действия в рабочем миокарде желудочков и предсердий было создано большое количество моделей, при этом процессы генерации ритма, происходящие в синоатриальном узле, оставались вне фокуса внимания. Расположен он в правом предсердии у места впадения верхней полой вены. Известно, что зародившийся там электрический импульс распространяется по предсердиям, заставляя их синхронно сокращаться. Далее возбуждение доходит до атриовентрикулярного узла, через пучок Гиса достигает его конечных разветвлений (волокон Пуркинье) и вызывает сокращение желудочков. В результате кровь изгоняется из сердца в органы и ткани организма (рис.2).

Импульсы возбуждения рождаются спонтанно в относительно небольшой зоне синоатриального узла — клетках первичного водителя ритма, или пейсмекера (от англ. *pacemaker* — задающий ритм). Неоднородность структуры синоатриального узла (наличие различных типов клеток — истинных и латентных водителей ритма, а также пейсмекеров промежуточного типа, которые

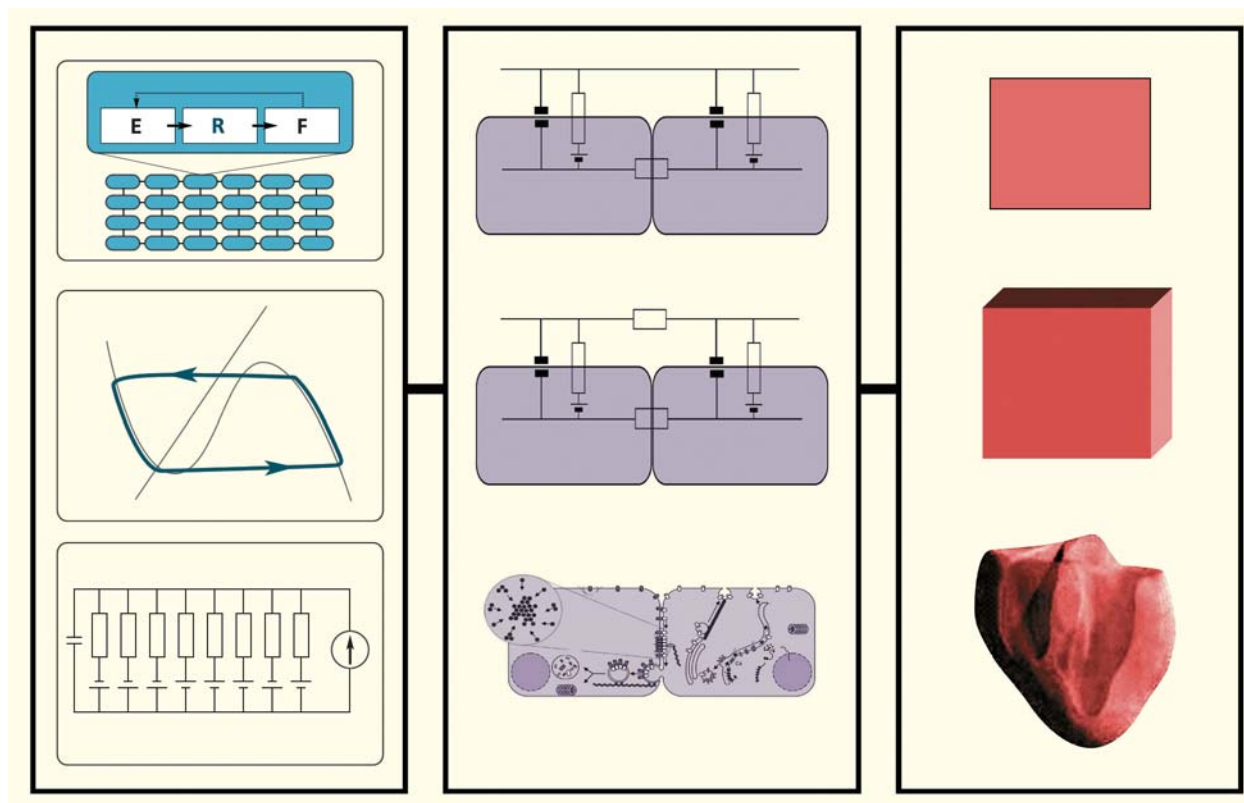


Рис.1. Три составные части модели электрической активности миокарда. Слева: модели генерации потенциала действия кардиомиоцитом (сверху вниз — аксиоматическая, ФитцХью—Нагумо, ионная). В центре: модели электрического контакта между клетками (кабельное уравнение, двухкомпонентная схема, реалистичная динамика щелевых контактов). Справа: геометрия модельной среды (двухмерная, трехмерная, реалистичная геометрия сердца).

обладают различными собственными периодами колебаний) существенно осложняет понимание процессов формирования ритма в синоатриальном узле. Для изучения этого явления необходим был инструмент, позволяющий непрерывно регистрировать все трансмембранные ионные токи и электрическую активность в различных точках синоатриального узла, в том числе и тех, которые расположены в толще миокарда. Такая детальная модель была создана в Институте теоретической и экспериментальной биофизики РАН [9, 10]. В ней учтены как динамика основных мембранных токов в клетках водителей ритма синоатриального узла, так и внутриклеточные процессы — динамика ионов кальция (важного внутриклеточного мессенджера) и баланс основных ионов

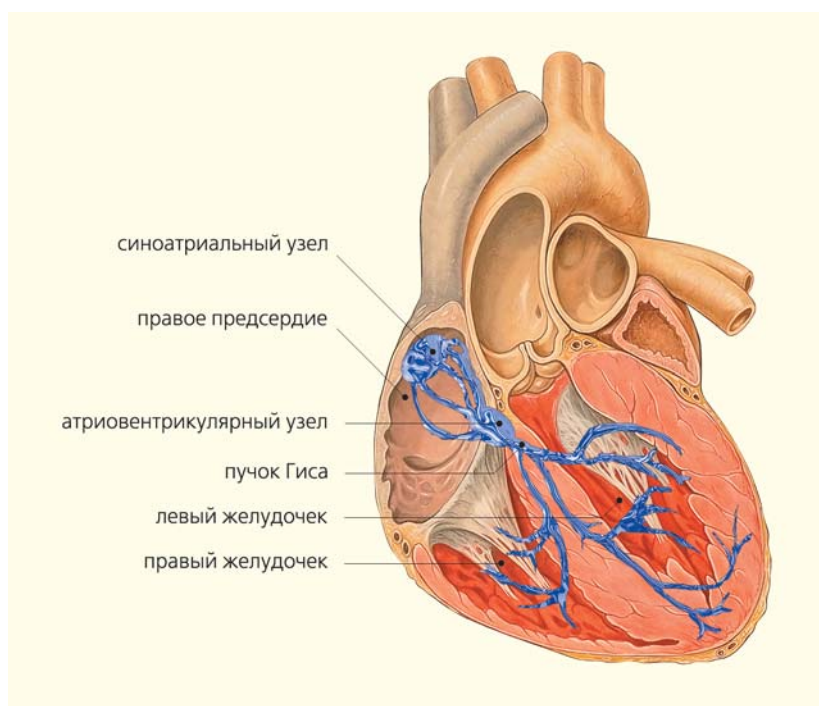


Рис.2. Проводящая система сердца. Пояснения см. в тексте.

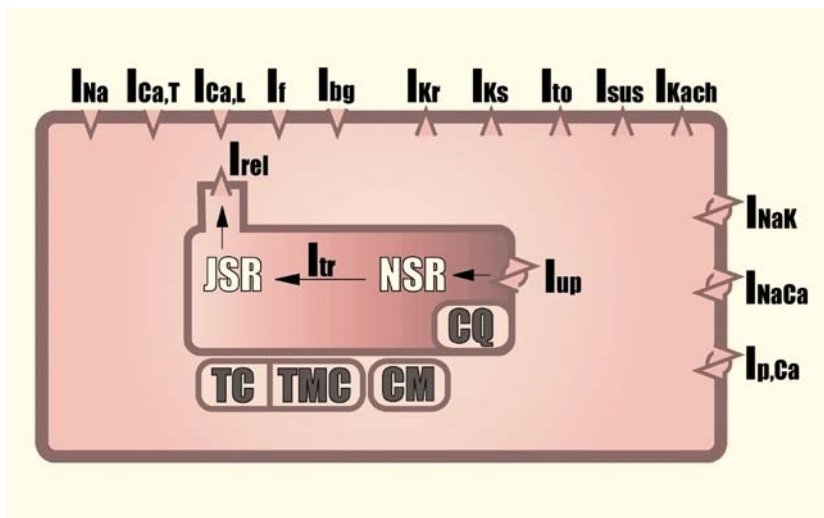


Рис.3. Схема мембранных и внутриклеточных токов детальной модели клеток синоатриального узла. I_{Na} — натриевый ток, $I_{Ca,T}$, $I_{Ca,L}$ — кальциевые токи Т- и L-типа, I_f — активируемый при гиперполяризации ток, I_{bg} — фоновый ток, I_{Kr} , I_{Ks} — быстрый и медленный калиевые токи задержанного выпрямления, I_{to} , I_{sus} — компоненты чувствительного к 4-AP тока, I_{Kach} — активируемый ацетилхолином калиевый ток, I_{NaK} — Na-K насос, I_{NaCa} — Na-Ca обменник, I_{CaP} — Ca насос; I_{rel} — рианодинный кальциевый ток, I_{up} — SERCA насос, I_{tr} — кальциевый ток внутри CP; NSR и JSR — сетевой CP и терминальные цистерны CP; TC, TMC, CM, CQ — тропонин, тропонин-Mg сайты, кальмодулин, кальсеквестрин. Расшифровка всех сокращений токов, приведенных на схеме, пожалуй, доступна лишь специалистам по клеточной электрофизиологии. Достаточно простого чтения списка этих токов, чтобы представить, сколь сложные механизмы учтены в современных детальных моделях кардиомиоцитов.

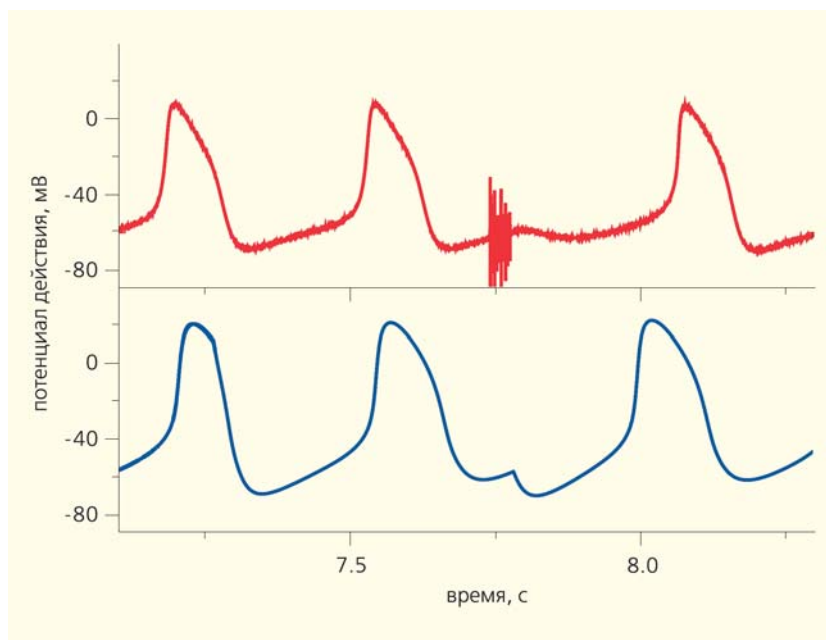


Рис.4. Экспериментальная запись (вверху) и результат моделирования (внизу) вагусного торможения в клетке-водителе ритма синоатриального узла кролика. Видно, что при стимуляции блуждающего нерва значения измеренного и полученного в расчетах потенциала действия достоверно близки.

(внутриклеточный ионный гомеостаз).

С помощью этой модели были исследованы различные процессы в клетках синоатриального узла, в частности, действие на них ацетилхолина — нейромедиатора, регулирующего частоту сердечных сокращений. Известно, что он выделяется из парасимпатических нервных окончаний при раздражении блуждающего нерва (вагуса), достигает мембраны кардиомиоцитов и активирует холинорецепторы.

Величины и зависимости токов от потенциала, времени и действия ацетилхолина были измерены экспериментально при регистрации электрической активности клеток синоатриального узла у млекопитающих (кролика). Эти зависимости оказались довольно сложными, нелинейными. Потенциал действия формируется в результате синергичной работы всего набора мембранных токов (рис. 3).

Преимущество моделирования состоит в том, что исследователю нет необходимости помнить все детали работы отдельных каналов. К примеру, автолюбителю необязательно знать число винтиков в карбюраторе. Однако ему полезно было бы разбираться в устройстве автомобиля. Так и исследователю достаточно знать, что основную роль в формировании потенциала действия клеток центральной части этого узла играет кальциевый ток большой проводимости ($I_{Ca,L}$), периферических клеток — натриевый ток (I_{Na}). Стимуляция вагуса или введение ацетилхолина активирует холинорецепторы, которые через регуляторные G-белки влияют на активируемый ацетилхолином калиевый ток (I_{Kach}), кальциевые токи ($I_{Ca,L}$ и $I_{Ca,T}$) и активируемый при гиперполяризации ток I_f .

Не вдаваясь в подробности опытов с пейсмекерными клетками кролика, отметим лишь, что исследователи предположили, что угнетение амплитуды потенциалов действия связано с подавлением $I_{Ca,L}$. И это под-

твердилось данными, полученными при использовании нашей математической модели, оправдавшей свое название — она действительно оказалась детальной и реалистичной, так как способна воспроизводить потенциал действия с точностью, сравнимой с экспериментальной (рис.4) [9—11]. Замечу, что сопоставление модельных результатов с экспериментальными считается важным аспектом всякого математического моделирования.

Безусловно, моделирование единичных клеток-водителей ритма синоатриального узла — весьма актуальная задача. Это полезно, например, при тестировании электрических ответов клетки на различные химические соединения, т.е. при создании новых лекарственных препаратов. Однако для исследования процессов генерации ритма в сердце важно учитывать кроме всего прочего взаимодействие клеток в синоатриальном узле.

От клетки к ткани

Электрическое взаимодействие кардиомиоцитов в миокарде осуществляется через щелевые контакты — особые ионные каналы, связывающие соседние клетки. К настоящему моменту не существует экспериментальной методики, позволяющей регулировать проводимость щелевых контактов в желаемых пределах. Такое исследование стало возможно именно благодаря детальному компьютерному моделированию. Варьируя проводимость щелевых контактов, нам удалось установить, что синхронизация колебаний клеток происходит не при всякой проводимости, а только если она выше пороговой. Более того, выяснилось, что когда синхронизация наступает, клетки начинают колебаться в едином ритме, но с небольшим сдвигом по фазе (рис.5). Эти результаты получены для пары соседних клеток синоатриального узла, но ведь он

содержит несколько десятков тысяч клеток. Будут ли все они колебаться синхронно? Вопрос на самом деле не праздный, фундаментальный: работает ли синоатриальный узел как единое целое при генерации ритма? Существуют экспериментальные доказательства того, что в нем образуются кластеры клеток, ведущие центры, в которых зарождаются колебания, конкурируя между собой. Однако ограниченность экспериментальных методик позволяет преодолеть именно детальное компьютерное моделирование. С его помощью можно не только подтвердить наблюдения, но и установить, каким образом зарождаются ведущие центры в синоатриальном узле и как они взаимодействуют между собой, формируя единый ритм сердца.

То, что колебания зарождаются в ведущем центре, а сам центр может смещаться, «мигрировать» в пределах синоатриального узла, заподозрили еще век назад, после опытов, выполненных В.Миком и Дж.Эйстером.

Однако из-за сложности экспериментальных работ провести надежные прямые измерения «миграции» удалось лишь в последние годы, при этом вопрос о механизме и динамике явления остался открытым. Решить его помогло тоже компьютерное моделирование. Мы подробно исследовали картину формирования ведущего центра и его смещение под действием ацетилхолина (рис.6). Оказалось, что важнейшую роль в формировании и смещении ведущего центра играют процессы установления внутриклеточного гомеостаза ионов натрия и калия, которые медленно, но ощутимо влияют на электрические свойства клеток и период их колебаний. Компьютерное моделирование позволило сделать еще один вывод: термин «миграция» не слишком удачен для описания явления, поскольку смещения ведущего центра происходят не плавно из центра на периферию синоатриального узла (так обычно описывали процесс в литературе), а скачками, т.е. ве-

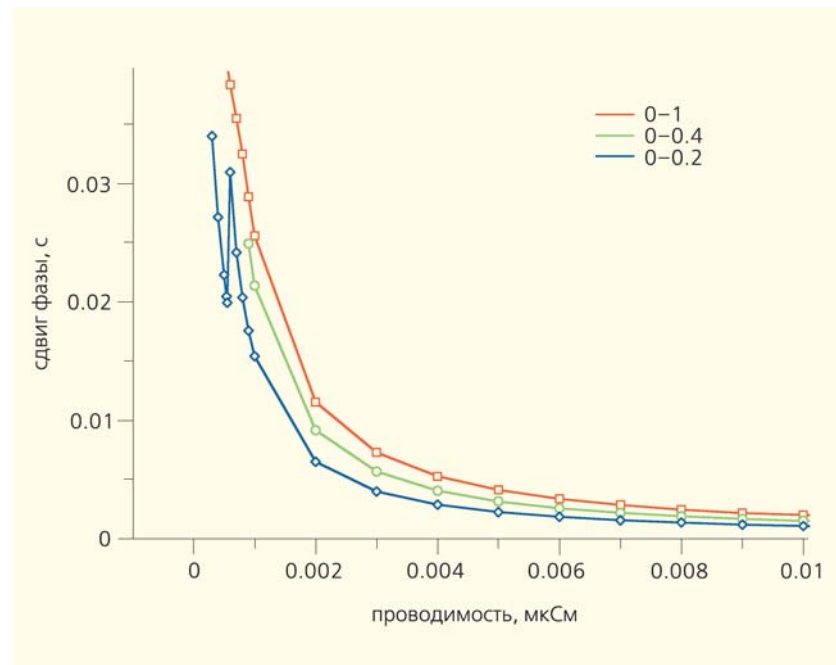


Рис.5. Сдвиг фазы колебаний для пар взаимодействующих клеток-водителей ритма в зависимости от проводимости щелевых контактов. Видно, что сдвиг фазы растет при уменьшении проводимости; при малых ее значениях наблюдаются асинхронные колебания.

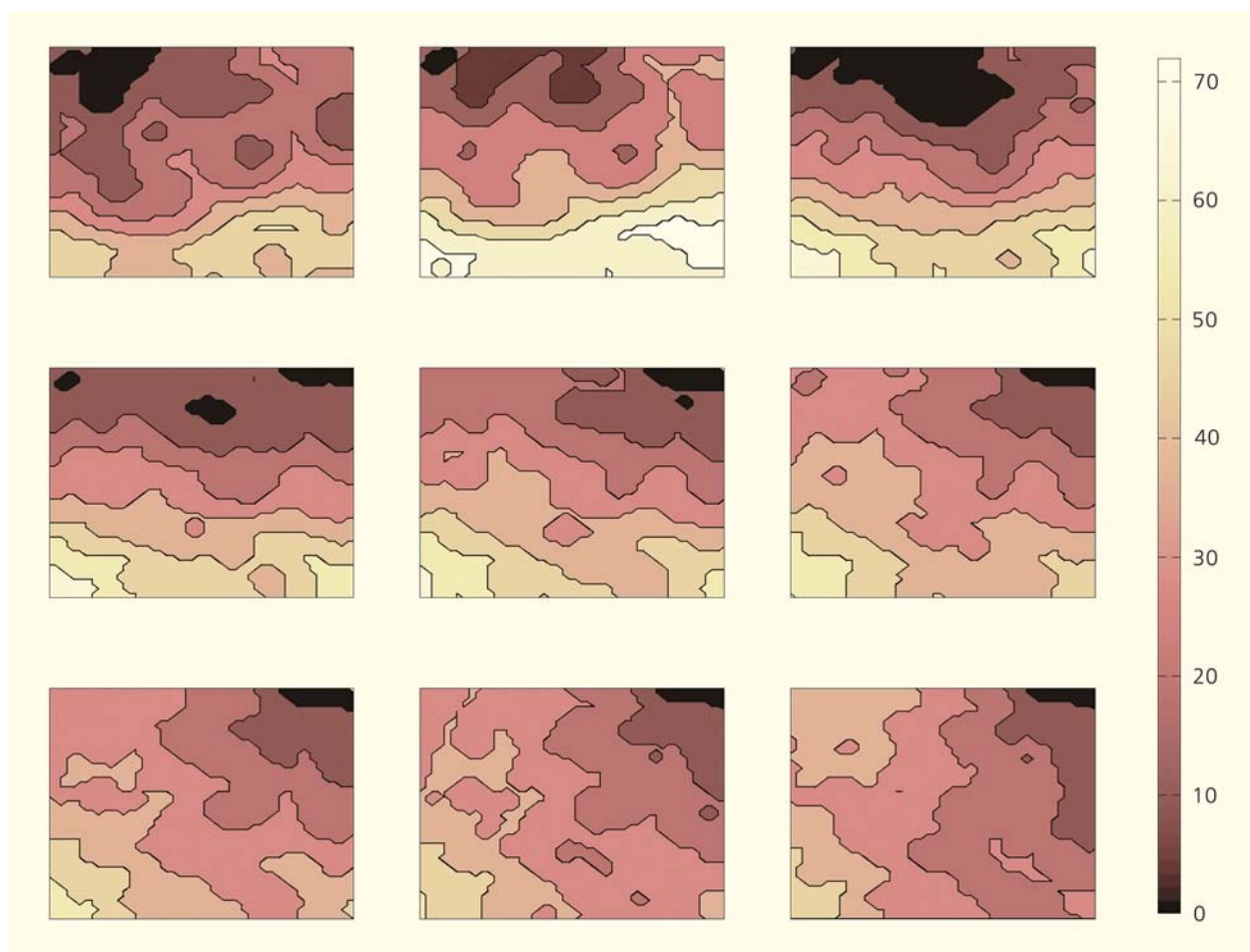


Рис.6. Хронотопографические карты миграции ведущего центра (черные области) при аппликации ацетилхолина. На рисунках заметно смещение ведущего центра из верхнего левого угла в верхний правый угол. Вертикальная шкала справа — время распространения в миллисекундах.

дущий центр исчезал в одном месте и появлялся в другом.

Исследования этого интересного явления продолжают, чтобы ответить на важный вопрос: зачем в такой небольшой структуре, как синоатриальный узел, реализован столь сложный механизм формирования ритма сердца?

Циркуляция возбуждения

Еще одно направление исследования нарушений формирования ритма — периодическое движение волны возбуждения по повторяющимся или меняющимся со временем траекториям (или путям) в пределах синоатриального узла. Известно, что

в рабочем миокарде, желудочках и предсердиях микроциркуляция возбуждения (re-entry) — предвестник и провокатор опасных аритмий, фибрилляций. Хотя это необычное явление обсуждается и исследуется уже несколько десятков лет, попытки обнаружить сам феномен в пределах синоатриального узла до недавнего времени оканчивались неудачей. Объясняли это соображениями из области геометрии. Известно, что типичный период вращения re-entry 0.2 с, скорость распространения возбуждения в миокарде порядка 50 см/с, таким образом, длина волны re-entry — 10 см. Микроциркуляция способна существовать в области, по размеру по крайней мере превосходящей

центр (ядро) re-entry в 0.1—0.2 длины волны, т.е. несколько сантиметров. Эти оценки проясняют трудности при попытках обнаружить микроциркуляцию в пределах синоатриального узла, линейный размер которого несколько миллиметров.

О существовании микроциркуляции в синоатриальном узле спорят с 50-х годов прошлого века, после публикации данных Хэттера и Траутвэйна. Большая заслуга в исследовании re-entry у холоднокровных животных и постановке вопроса о возможности и важности явления у теплокровных, в том числе человека, принадлежит Л.В.Розенштрауху (см. обзор [12]).

Недавно с помощью детальной математической модели

ткани синоатриального узла удалось найти параметры, при которых возникает микроциркуляция в его пределах. Оказалось, что динамика re-entry в синоатриальном узле и его влияние на миокард предсердий носит очень сложный характер. Как и в рабочем миокарде, в синоатриальном узле re-entry вращается вокруг ядра — области, в которой амплитуда колебаний мембранного потенциала меньше, чем в прилегающей ткани (рис.7). В целом же динамика в синоатриальном узле оказалась намного сложнее динамики, наблюдаемой для подобных структур в желудочках и предсердиях (рис.8) [13]. Выяснилось, что циркуляция возбуждения в синоатриальном узле и в правом предсердии синхронизованы лишь частично (периоды колебаний в этих структурах различны). На границе синоатриального узла образуется серповидная зона функционального блока (черная область на рис.8), а наличие таких блоков в миокарде, как известно, часто приводит к фибрилляции. Функциональный блок не стационарен, он мигрирует вдоль границы синоатриального узла (см. рис.8). Когда re-entry в нем распадается, функциональный блок существует еще несколько секунд. Затем возбуждение проникает ретроградно из предсердия

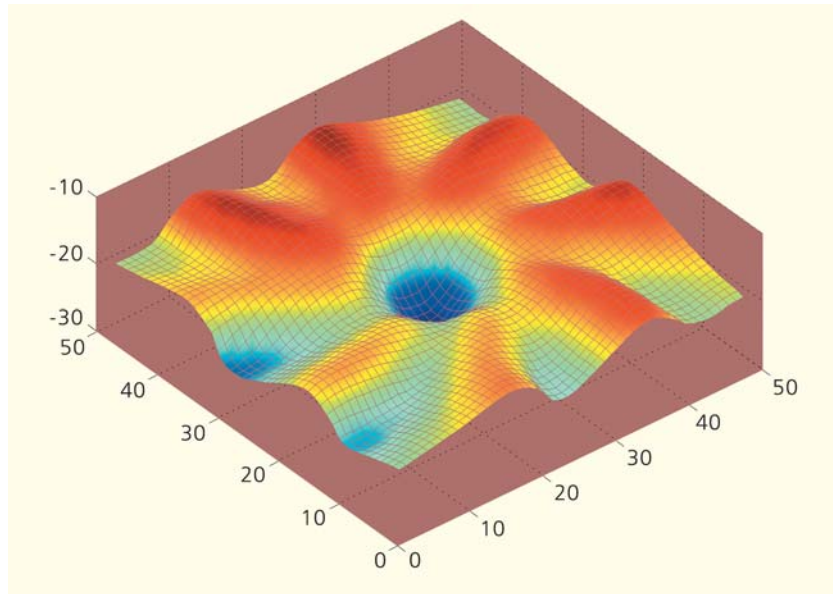


Рис.7. Ядро автоволнового вихря (синий провал в центре) — область, вокруг которой вращается re-entry. Горизонтальные оси — номер клетки, вертикальная ось — трансмембранный потенциал. Синий цвет соответствует низкому значению мембранного потенциала, красный — высокому.

в синоатриальный узел (см. рис.8), и он все же восстанавливает свою естественную автоматическую активность и синхронизирует активность предсердий. Так, появление микроциркуляции в синоатриальном узле может вызвать эпизоды аритмии в предсердиях и желудочках. Отмечу еще раз, что понять динамику, логику последовательности смены картин возбуждения оказалось возможным лишь бла-

годаря детальному компьютерному моделированию. Современные экспериментальные методы исследований, к сожалению, пока не способны предоставить требуемую информацию.

Таким образом, с помощью компьютерных расчетов нам удалось обнаружить и исследовать динамику микроциркуляции в синоатриальном узле. Но как же быть с упомянутыми геометрическими оценками, со-

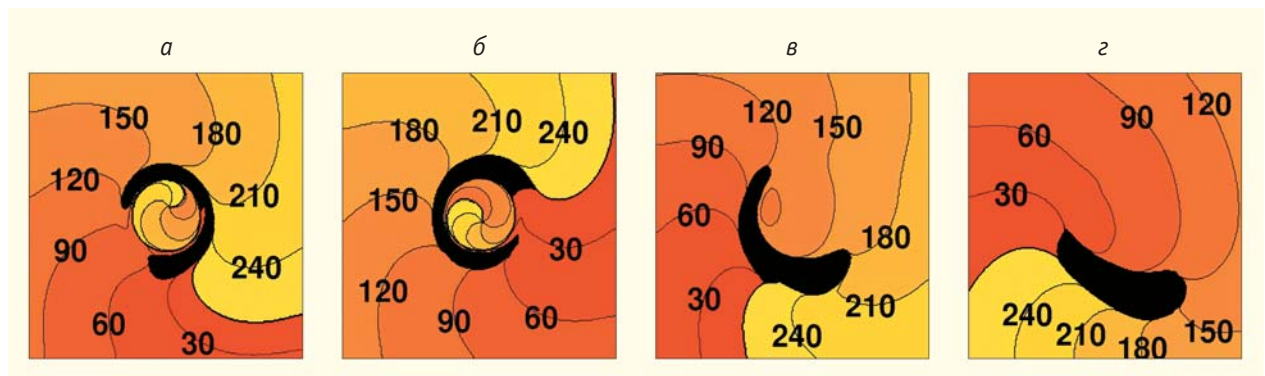


Рис.8. Хронотопографические карты нестационарного вращения re-entry в синоатриальном узле (круг в центре), окруженном миокардом правого предсердия. Числа на изолиниях — время возбуждения соответствующей области. Черным обозначена зона функционального блока на границе синоатриального узла (а, б). Колебания рождаются в синоатриальном узле (а), но затем из-за сложной динамики re-entry волна возбуждения ретроградно проникает из предсердной ткани в синоатриальный узел (в), что приводит к re-entry, фибрилляции предсердий (z).

гласно которым re-entry просто неспособно «втиснуться» в синоатриальный узел? Нас ждал сюрприз. Оказалось, что расчеты, принимавшиеся во внимание, были верны лишь для рабочего миокарда, т.е. среды, которая, говоря языком физики, находится в ждущем режиме. По такой среде распространяются триггерные автоволны переключения. Синоатриальный же узел — спонтанно активная, автоколебательная среда. В такой среде мы недавно обнаружили особый тип распространяющегося возбуждения — диффузионно-фазовые волны, существующие ис-

ключительно в автоколебательной среде [14]. Интересно, что диффузионно-фазовые волны были впервые обнаружены в химической активной среде, в реакции Белоусова-Жаботинского [15, 16]. И лишь затем возникла идея проверить существование таких волн в синоатриальном узле. Этот пример еще раз доказывает, насколько умело в живых организмах используются общие физические законы.

* * *

Детальное математическое моделирование в физиологии призвано заменить эксперимен-

тальные исследования там, где эксперименты дороги, трудоемки, опасны для здоровья. Более того, с помощью компьютерного моделирования можно изучать процессы, экспериментальное исследование которых на сегодняшний день просто невозможно из-за ограничений в оборудовании. Математическое моделирование не может в полной мере заменить экспериментальные работы, клинические испытания, но способно многократно ускорить получение новых знаний в ключевых областях кардиологии, медицины, физиологии. ■

Литература

1. Wiener N., Rosenblueth A. The mathematical formulation of the problem of conduction of impulses in a network of connected excitable elements, specifically in cardiac muscle // Arch. Inst. Cardiologia de Mexico. 1946. V.16. №3—4. С.205—265.
2. FitzHugh R. Impulses and physiological states in theoretical models of nerve membrane // Biophys. J. 1961. №1. P.445—465.
3. Nagumo J., Arimoto S., Yoshizawa S. // An active pulse transmission line simulating nerve axon // Proc. IRE. 1962. №50. P.2061—2070.
4. Aliev R.R. Heart tissue simulations by means of chemical excitable media // Chaos, solitons and fractals. 1995. T.5. № 3. С.567—574.
5. Aliev R.R., Panfilov A.V. A simple two-variable model of cardiac excitation // Chaos, solitons and fractals. 1996. T.7. №3. С.293—301.
6. Алиев Р.Р. Компьютерное моделирование электрической активности сердца // Усп. физиол. наук. 2010. Т.41. №3. С.44—63.
7. Hodgkin A.L., Huxley A.F. A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. // J. Physiol. 1952. №117. P.500—544.
8. Алиев Р.Р. Концептуальные и детальные модели электрической активности миокарда. LAP, 2012.
9. Алиев Р.Р., Федоров В.В., Розенитраух Л.В. Исследование влияния ацетилхолина на ионные токи в одиночных клетках истинных и латентных водителей ритма синусового узла кролика методом компьютерного моделирования // Докл. РАН. 2004. Т.397. №5. С.697—700.
10. Алиев Р.Р., Чайлахян Л.М. Исследование влияния ацетилхолина на внутриклеточный гомеостаз истинных водителей ритма синусового узла кролика методом компьютерного моделирования // Докл. РАН. 2005. Т.402. №5. С.689—692.
11. Алиев Р.Р., Абрамочкин Д.В., Розенитраух Л.В. Теоретическое и экспериментальное изучение модальности реакций клеток водителя ритма синоатриального узла при вагусной стимуляции // Российский физиол. журн. им. И.М.Сеченова. 2009. Т.95. №1. С.49—57.
12. Розенитраух Л.В., Алиев Р.Р., Белошанко Г.Г. и др. Экспериментальный и теоретический анализ роли локальной невозбудимости холинергической природы в возникновении мерцания и трепетания предсердий // Кардиология. 2007. Т.47. №4. С.4—17.
13. Сюняев Р.А., Алиев Р.Р. Моделирование микроциркуляции возбуждения в синоатриальном узле // Биофизика. 2012. Т.57. №5. С.870—875.
14. Syunyaev R.A., Aliev R.R. Action potential propagation and phase dynamics in the sinoatrial node // Russian journal of numerical analysis and mathematical modelling. 2012. T.27. №5. С.493—506.
15. Aliev R.R. Oscillation phase dynamics in the Belousov-Zhabotinsky reaction. Implementation to image processing // J. Phys. Chem. 1994. T.98. №15. С.3999—4002.
16. Aliev R.R., Biktashev V.N. Dynamics of the oscillation phase distribution in the BZ reaction // J. Phys. Chem. 1994. T.98. №38. С.9676—9681.

Монгольский Алтай глазами энтомологов

Р.В.Яковлев, Е.В.Гуськова

Алтайская горная страна расположена на территории четырех государств: России, Монголии, Китая и Казахстана. Высокогорья ее юго-восточной части носят название Монгольский Алтай. Его протяженность около 1000 км, ширина — от 150 до 300 км. Он простирается с северо-запада на юго-восток и состоит из нескольких параллельных хребтов, разделенных продольными долинами. Вершины хребтов в основном платообразные, в их гребневых частях встречаются ледники (каровые и всиячие), крупнейший из которых — ледник Потанина. Самая высокая точка Монгольского Алтая — гора Мунх-Хайрхан-Ула (4362 м). На более увлажненных юго-западных склонах распространены лесо-луговые формации (в составе лесов преобладают ель и лиственница), ниже они сменяются степями, а выше — альпийскими лугами. На северо-восточных склонах господствуют степи и полупустыни.

Изучение биологического разнообразия Монгольского Алтая и прилегающих горных районов России и Казахстана — одна из основных задач барнаульских биологов. Исследование флоры уже дало важные результаты: под редакцией президента Русского ботанического общества Р.В.Камелина и директора Южно-Сибирского ботанического сада А.И.Шмакова начала



Роман Викторович Яковлев, кандидат биологических наук, научный сотрудник Южно-Сибирского ботанического сада Алтайского государственного университета (Барнаул). Область научных интересов — биогеография, зоологическая систематика, фаунистика.



Елена Владимировна Гуськова, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей биологии, физиологии и морфологии животных Алтайского аграрного университета. Занимается энтомологией и экологией.

выходить многотомная сводка «Флора Алтая», первый том которой увидел свет в 2005 г. [1]. А вот фауна (и особенно энтомофауна) этого региона пока подробно не изучена.

Энтомологи на Алтае

Вероятно, первым, кто планомерно исследовал энтомофауну Монгольского Алтая, был выдающийся русский географ В.В.Сапожников (1861—1924). Он впервые переступил границу Монголии 26 июня 1905 г. и с той поры в течение четырех лет (1905, 1906, 1908 и 1909) изучал географию и биоту этого региона. Сапожников открыл десятки ледников, описал горные хребты и речную сеть Западной Монголии, составил подробные описания растительности, собрал огромный гербарий и зоологические коллекции. Активную экспедиционную и научную деятельность Василий Васильевич совмещал с работой ректора Томского университета. Однако в 1907 г. из-за



В.В.Сапожников (1861—1924).

накала политических страстей в предреволюционной России он оставил ректорство, ставшее серьезной помехой в его научной работе. «Довольно и того самопожертвования, что я одно лето просидел дома...» — писал Сапожников 10 декабря 1907 г. Замечательны и его слова в книге «По Алтаю», описывающие эмоциональное состояние великого географа-исследователя: «Я не люблю писать о своем настроении, но теперь позволю себе заметить, что такие дни, полные напряженной работы, сопровождаемой новыми открытиями, чувствуются не даром прожитыми. Несмотря на крайнее физическое утомление, где-то глубоко внутри живет и радуется существованию другой, бодрый и не уставший человек. Эту здоровую радость бытия в исследовании я завещаю моим молодым друзьям и ученикам» [2, с.21]. Гербарий и энтомологические коллекции, собранные Сапожниковым, хранятся в Зоологическом музее Томского университета, а по результатам его экспедиционных работ издана монография [3].

В 1960—1970 гг. на территории Монголии работали советские, венгерские и немецкие энтомологи. По материалам исследований советско-монгольской экспедиции выпущена серия сборников «Насекомые Монголии». Венгерские специалисты, работавшие под руководством З.Касаба, опубликовали свои результаты в большом количестве статей, преимущественно в журнале «Reichenbachia» (ГДР).

Мы начали изучать энтомофауну Монгольского Алтая в 1999 г. В первой же — разведывательной — экспедиции в Западную Монголию, организованной совместно с российскими энтомологами В.В.Ковтуновичем и П.Я.Устюжаниным, были обнаружены два новых вида дневных бабочек из семей-

ства голубянок (Lycaenidae) [4]. Это стало для нас неожиданностью, ведь такие бабочки — самый хорошо изученный объект в энтомологии (во многом из-за их популярности у коллекционеров).

Исследования продолжились в комплексных ботанико-зоологических экспедициях Южно-Сибирского ботанического сада Алтайского университета. В этих экспедициях — всего их было девять — совместно с нами работали энтомологи В.В.Аникин (Саратов) и В.В.Дорошкин (Челябинск) и параллельно — экспедиционный отряд С.В.Чуркина (Москва). Работы проводились во всех трех аймаках (провинциях) Монгольского Алтая: Баян-Улэгейском, Кобдосском и Гоби-Алтайском, в том числе и на участках, которые никогда ранее не посещались энтомологами. По материалам наших экспедиций и результатам исследования музейных материалов опубликованы несколько десятков статей в различных журналах. А в 2009 г. в Чехии была издана монография, посвященная фауне дневных чешуекрылых Монголии [4].

Распространенные заблуждения

Энтомофауна высокогорий и среднегорий Монгольского Алтая традиционно считается бедной. Действительно, при сходных природных условиях в российской части Алтая (на Курайском хребте) обитают восемь видов бабочек рода *Oeneis*, три вида рода *Boloria* и семь видов *Parnassius*. На хребте Хасагт-Хайрхан Монгольского Алтая из рода *Oeneis* встречаются всего два вида, а из родов *Boloria* и *Parnassius* — по одному. Но при этом здесь из 175 видов дневных бабочек 19 — эндемичные. А в российской части из 221 вида нет ни одного эндемика! По относительному числу эндемичных видов бабочек Монгольский Алтай оказался близок скорее к горам Средней Азии (Джунгарскому Алатау, Северному Тянь-Шаню и др.). Найдено немалое число эндемиков и из других групп насекомых [5, 6]. Поэтому представления об энтомофауне Монгольского Алтая как исключительно бедной в корне неверны.

Также распространено мнение, что фауна Монгольского Алтая наиболее близка фауне российского Алтая и Саян. Это, как выясняется, верно лишь отчасти. На некоторых хребтах (например, Аршантын-Нуруу) сибирских элементов нет вовсе. При этом в фауне Западной Монголии весьма высока доля среднеазиатских видов. Их максимальная концентрация наблюдается в долине р.Булган-Гол и ее притоков и постепенно снижается в восточном направлении. Интересно, что некоторые чешуекрылые насекомые — эндемики пустынных котловин Монгольского Алтая — эволюционно близки с обитающими в Сахаре. Это, например, примитивные бабочки древоточцы (Cossidae) [7].

Зоогеографическое районирование

Одна из важнейших проблем изучения фауны какого-либо региона — его зоогеографическое районирование — расчленение крупных выделов на более мелкие, которое можно осуществить, детально изучив какую-то одну группу животных. Для Монгольского Алтая такими группами могут стать чешуекрылые (булавоусые бабочки, бражники, совки, медведицы, пальцекрылки) и жесткокрылые (листоеды, коровки, малашки) насекомые. Мы выбрали хорошо изученную группу — булавоусых чешуекрылых [8].

Оказалось, что при зоогеографическом районировании Монгольского Алтая можно в целом опираться на крупные фитогеографические выделы, предложенные ботаниками (что неудивительно, если принять во внимание облигатную фитофагию большинства исследуемых видов насекомых). По их классификации Монгольский Алтай делится на западную (Алтае-Джунгарскую) и восточную (Западно-Монгольскую) фитогеографические провинции по линии основного водораздельного хребта. Эта закономерность прослеживается и в распределении энтомофауны, что достаточно хорошо отражено в литературе [9, 10]. А судить о более дробной зоогеографической структуре Монгольского Алтая до недавнего времени было невозможно из-за недостатка данных.

Западно-Монгольская провинция

Восточные склоны Монгольского Алтая в северной части — сухие и холодные, а южнее котловины Больших Озер — сухие и жаркие. По всей их протяженности энтомофауна очень обеднена. Тем не менее в Западно-Монгольской провинции можно выделить три зоогеографических района: северный (Улэгейский), центральный (Кобдосско-Дарвийн-Нуруинский) и южный (Южно-Монгольский).

Улэгейский район фаунистически близок с хорошо изученной Чуйской долиной на юго-востоке российской части Алтая. Здесь распространен известный алтайский комплекс горно-степных и тундровых видов растений (с включением некоторых эндемиков Монголии).

Кобдосско-Дарвийн-Нуруинский район характеризуется в основном пустынными и полупустынными видами, а фауной близок Южной Туве (южные склоны хребтов Танну-Ола и северная часть Убсунурской котловины).

Южно-Монгольский район. При ботанико-географическом районировании наряду с Западно-Монгольской и Алтае-Джунгарской флористическими провинциями Камелин выделил еще и Южно-Монгольскую. Но, по нашим данным, ее фауна не столь сильно отличается от фауны остальной части восточного макросклона Монгольского Алтая. Кроме того, здесь присутствуют спе-



Эндемичный для Монгольского Алтая вид жука — листоед Яковлева (*Labidostomis yakovlevi*).

Фото Р.В.Яковлева



Эндемичная для Монгольского Алтая бабочка — чернушка центгельская (*Erebia tsengelensis*).

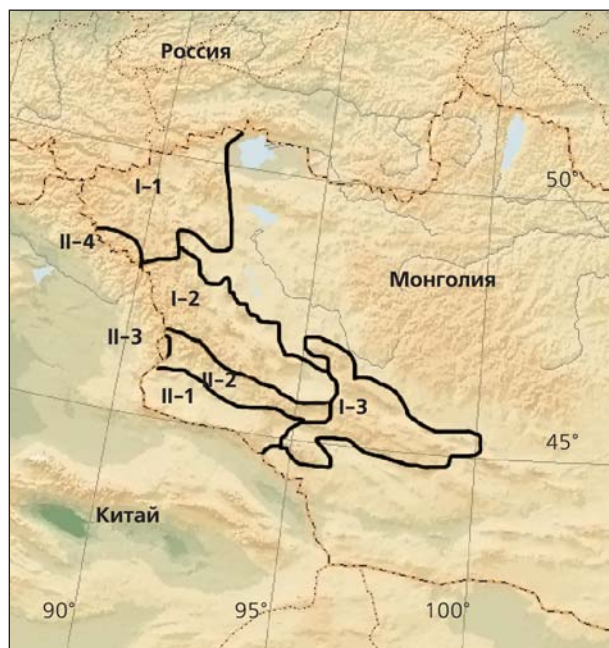
Фото Р.В.Яковлева

цифические узкоареальные виды, общие и с Алтае-Джунгарской провинцией, такие как *Neolycaena musa* (Lycaenidae) и *Gobibatyr ustyuzbanini* (Cossidae). Общие виды появляются на этих территориях из-за уменьшения высот основных хребтов (что снижает изолирующую способность южных отрогов Монгольского Алтая) и отчасти из-за широтного расположения данного района. Таким образом, при зоогеографическом райони-



Монгольский Алтай, Улэгейский биогеографический район, перевал Улан-Даба.

Фото Р.В.Яковлева



Зоогеографические районы Монгольского Алтая: I-1 — Улэгейский, I-2 — Кобдосско-Дарвийн-Нуринский, I-3 — Южно-Монгольский, II-1 — Барун-Хурайско—Адж-Богдинский, II-2 — Булган-Биджийн-Гольский, II-3 — Аршантынский, II-4 — Черно-Иртышский.

ровании Южно-Монгольская флористическая провинция вряд ли заслуживает обособления в столь высоком ранге. Этот выдел, несомненно, должен существовать, но его фауна (по крайней мере современные о ней представления) позволяет описать его лишь в качестве биогеографического выдела меньшего ранга — Южно-Монгольского района в составе Западно-Монгольской провинции. В него входят высокогорья хребтов центральной части Гоби-Алтайского аймака (таких, как Хан-Тайчарын-Нуруу, Хара-Адзгарайтын-Нуруу и Хасагт-Хайрхан). Они неплохо исследованы, здесь обнаружены многие эндемичные виды бабочек (*Oeneis temujin*, *Erebia chastilovi*, *Agrodiates mediator*, *Agriades glandon ustyuzbanini* и др.). Фауна низкогорий малоспецифична и очень сближена с фауной южных склонов Хангая и пустынных районов к востоку и югу от Монгольского Алтая. На изолированном и пока очень слабо изученном высокогорном массиве Адж-Богдо вопреки ожиданиям фауна очень бедна и состоит из типичных для юго-востока Монгольского Алтая компонентов. На территории Южно-Монгольского района находится предел распространения многих сибирских насекомых, здесь же проходит и юго-восточная (для гор Алтая) граница ареала лиственницы. Западной границей района служит горный массив Алаг-Хайрхан.



Массив Алаг-Хайрхан-Ула.

Фото П.А.Косачева



Миражи в Монгольском Алтае. Вид на пос.Алтай в Кобдосском аймаке.

Фото П.А.Косачева

Алтае-Джунгарская провинция

Энтомофауна юго-западного макросклона Монгольского Алтая более разнообразна. Но его изучение связано с рядом трудностей, основная из которых — принадлежность большей части Алтае-Джунгарской провинции к территории Китая, мало доступной отечественному энтомологу. Монгольская же часть очень невелика и почти полностью относится к пограничной зоне. Тем не менее Алтае-Джунгарская провинция может быть разделена на четыре зоогеографических района: Барун-Хурайско—Адж-Богдинский, Булган-Биджийн-Гольский, Аршантынский и Черно-Иртышский [11].

Барун-Хурайско—Адж-Богдинский район занимает котловину Барун-Хурай, низкогорья массива Адж-Богдо и обращенные к Джунгарской и Трансалтайской Гоби горные массивы основного водораздельного хребта. Эти районы в целом бедны фаунистически, но для них характерно множество пустынных видов западно-палеарктического и среднеазиатского происхождения.

Булган-Биджийн-Гольский район расположен в долинах рек Булган-Гол, Уэнчин-Гол и Бодончин-Гол от верховий до среднего течения. Для этого района характерен своеобразный ком-

плекс фауны с преобладанием степных видов, распространенных от Европы до Центральной Азии. Также велика доля видов сибирского происхождения (особенно в верховьях левых притоков Булган-Гола и на склонах хребта Шадзгат-Нуруу). Например, сибирское родство имеет обнаруженный здесь эндемик — чернушка Пржевальского (*Erebia przhivalskii*).

Аршантынский район занимает склоны нескольких небольших по протяженности, но довольно высоких горных массивов (отрогов водораздельного хребта). Здесь образуется так называемая дождевая тень и создаются благоприятные условия для формирования исключительно своеобразной биоты — богатой флористически и фаунистически. Один из таких массивов — хорошо исследованный нами хребет Аршантын-Нуруу [12]. Он расположен к юго-западу от небольшого правого притока Булган-Гола — р.Баян-Гол (в переводе с монгольского — Богатая река). Одна из особенностей этого горного массива, послужившая основой его названия (оно означает «горы источников») — наличие многих непересыхающих родников. Достаточное увлажнение, небольшое население и умеренный выпас скота стали причиной хорошей сохранности растительности на Аршантын-Нуруу по сравнению с большинст-



Черно-Иртышский район, долина р. Ёлт-Гол.

Фото Д.В. Рыжкова

вом горных хребтов Монгольского Алтая. Разнообразие флоры сопровождается здесь богатством энтомофауны. На склонах этого горного массива описан ряд эндемичных видов бабочек: *Hyponephele smirnovi* (Satyridae), *Pseudophilotes svetlana*, *Tongeia arata* (Lycaenidae), *Melitaea yakovlevi*, *Melitaea elena* (Nymphalidae). Готовятся к описанию несколько новых видов жуков.

Следует чуть подробнее сказать об эндемиках хребта Аршантын-Нуруу. Оказалось, что один эндемичный вид — бабочка *Palaeophylotes svetlana* (из группы *P.panope*, объединенных в подрод *Inderskia*) связана трофически с астрагалом — растением семейства бобовых, причем, вероятно, лишь с одним его видом — *Astragalus lasiophyllus*. Он широко распространен в пустынях и полупустынях Казахстана (от Каспийского моря и р.Эмбы на западе до Джунгарского Алатау на востоке), Средней Азии, Западной Монголии и Северо-Западного Китая. А *P.svetlana* — единственный пустынный эндемик среди булавоусых чешуекрылых Монголии. Вероятнее всего, ареал предковых форм бабочек подрода *Inderskia* находился в Древнем Средиземье*, а позже вследствие ариди-

* Зоогеографическая область Древнего Средиземья (или Тетическая зоогеографическая область) простирается от Макаронезии на западе через Средиземноморье, Переднюю и Среднюю Азию до пустыни Гоби и Тибета на востоке. Формирование ее биоты происходило под влиянием сложных пульсаций океана Тетис.

зации климата распался на несколько фрагментов. Они, в свою очередь, будучи изолированными и лишенными генетического обмена, дали в ходе эволюции хорошо дифференцированные виды. И теперь ареал бабочек подрода *Inderskia* стал разорванным. Еще более прерывиста область распространения древоточцев из рода *Cecropbalus*, один представитель которого встречается в пустынях Средней Азии и Монголии, а второй — только в Северо-Западной Африке.

Черно-Иртышский район — еще один «оазис» на западном склоне Монгольского Алтая, расположенный в долине р.Елт-Гол. Эта река принадлежит к системе истоков Черного Иртыша, а сам район, вне сомнения, относится к гумидному Алтаю. Фаунистически у района много общего с Центральным и, вероятно, китайским Алтаем [13].

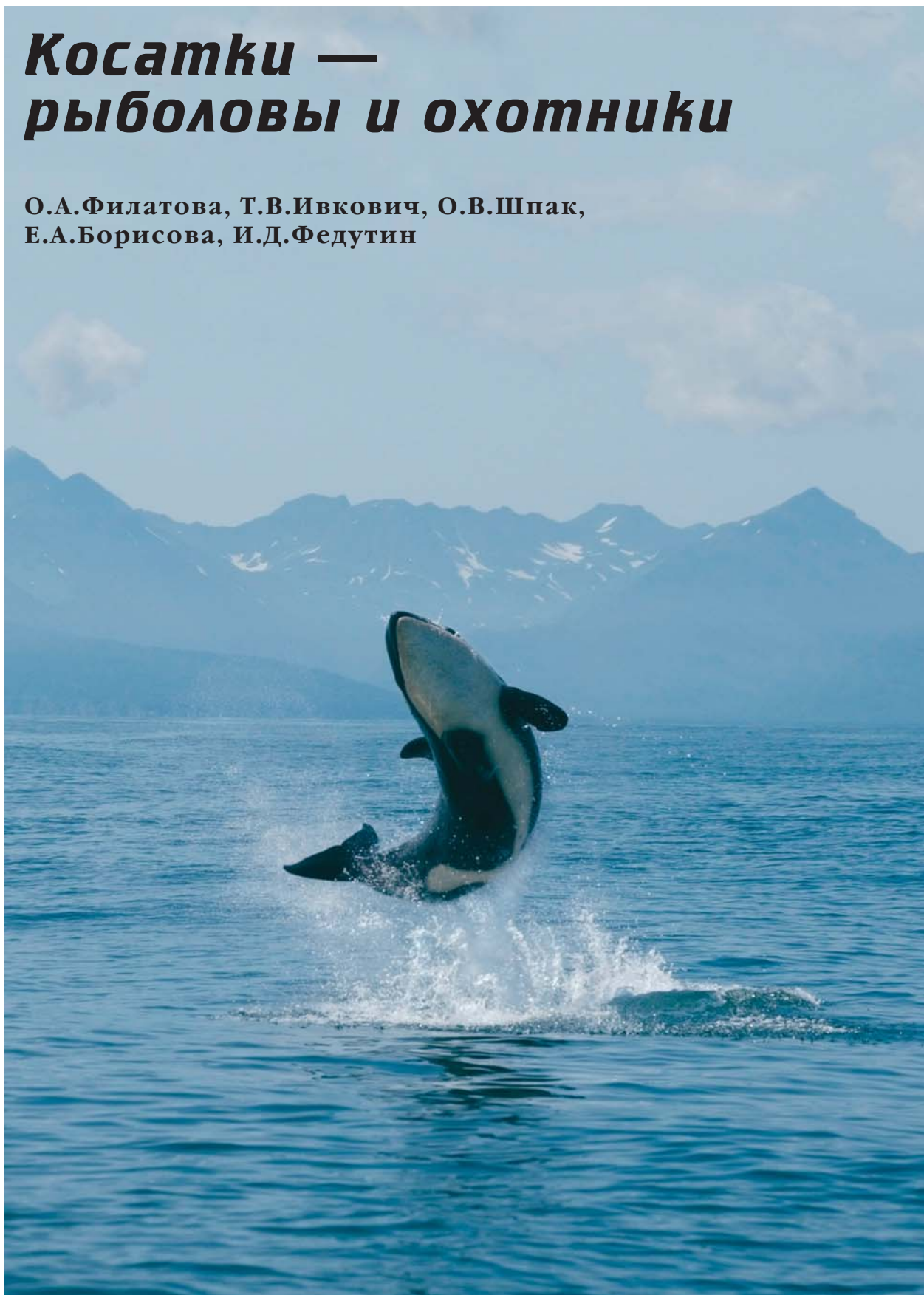
Два последних района — Аршантынский и Черно-Иртышский — несомненно имеют продолжение в Китае. Однако в настоящее время говорить о зоогеографии китайской части Монгольского Алтая рано. Сегодня даже на территории его монгольской части остается несколько малоизученных крупных горных массивов. Это, например, Байтаг-Богдо (вместе с мелкими хребтами к востоку от него), высокогорья хребта Адж-Богдо и многие другие. Все они еще ожидают своей очереди. Изучение их энтомофауны позволит уточнить и детализировать предложенную зоогеографическую характеристику Монгольского Алтая. ■

Литература

1. Камелин Р.В. Новая флора Алтая (задачи и концепция новой флористической сводки) // Флора Алтая. Т.1. Барнаул, 2005. С.22—56.
2. Сапожников В.В. По Алтаю. М., 1949.
3. Сапожников В.В. Монгольский Алтай в истоках Иртыша и Кобдо. Томск, 1911.
4. Tshikolovets V.V., Yakovlev R.V., Balint Z. The Butterflies of Mongolia. Kyiv-Pardubice, 2009.
5. Ustjuzbanin P.Ya., Kovtunovich V.N. Fauna of Plume Moths (Lepidoptera, Pterophoridae) of Mongolia // Алтайский зоологический журнал. 2008. Т.2. С.34—45.
6. Гуськова Е.В. Новые данные по листоедам (Coleoptera, Chrysomelidae) Монгольского Алтая // Евразийский энтомолог. журн. 2006. Т.5. №4. С.303—306.
7. Яковлев Р.В. Древооточцы (Lepidoptera, Cossidae) Монголии // Евразийский энтомолог. журн. 2004. Т.3. №3. С.217—224.
8. Яковлев Р.В. Булавоусые чешуекрылые (Lepidoptera, Diurna) Алтайской горной страны. Автореферат дис. ... канд. биол. наук. Барнаул, 2003.
9. Сергеев М.Г. Закономерности распространения прямокрылых насекомых Северной Азии. Новосибирск, 1986.
10. Крыжановский О.Л. Состав и распространение энтомофаун земного шара. М., 2002.
11. Yakovlev R.V. Checklist of Butterflies (Papilionoidea) of the Mongolian Altai Mountains, including descriptions of new taxa // Nota lepidopterologica. 2012. V.35. №1. P.51—96.
12. Яковлев Р.В. Булавоусые чешуекрылые (Lepidoptera: Papilionoidea) хребта Аршантын-Нуруу (Западная Монголия) // Амурский зоол. журн. 2012. Т.4. №1. С.54—60.
13. Гуськова Е.В., Яковлев Р.В. Черно-Иртышский биогеографический регион Алтайской горной страны. Мнение энтомолога (предварительные результаты) // Амурский зоол. журн. 2011. Т.3. №2. С.196—198.

Косатки — рыболовы и охотники

**О.А.Филатова, Т.В.Ивкович, О.В.Шпак,
Е.А.Борисова, И.Д.Федутин**



Традиционно считалось, что косатка (*Orcinus orca*) — хищник с широким спектром питания (от рыб до крупных китов), но в 70-х годах прошлого века выяснилось, что эти животные очень разборчивы в еде. Исследователи, несколько десятилетий изучавшие косаток в прибрежных водах о.Ванкувера (Канада), чаще всего встречали рыбацких особей, предпочитавших кормиться лососем. Косатки путешествовали большими дружными семьями, состав которых оставался стабильным из года в год. Некоторые из них появлялись в проливах и бухтах столь регулярно, что их стали называть «резидентами». Однако время от времени в тех же районах непредсказуемо появлялись и исчезали совсем другие, «транзитные», косатки. Поначалу их приняли за изгнанников «резидентных» групп, и только после тщательных наблюдений, на которые ушло немало лет, выяснилось, что «транзитные» косатки относятся к другому экологическому типу (экотипу) [1]. Охотятся они, в отличие от рыбацких «резидентов», исключительно на морских млекопитающих — тюленей, дельфинов и даже на крупных китов. Впоследствии ученые обнаружили, что кроме пищевых предпочтений у этих экотипов много и других отличий.

Экотипы или виды?

Исследователи, несколько десятилетий наблюдавшие за рыбацкими и плотоядными косатками у берегов о.Ванкувера, заметили, что животные разных экотипов никогда не общаются, хотя и встречаются в одних и тех же районах [1]. А результаты генетического анализа подтвердили, что они и не скрещиваются друг с другом в природе [2]. И в этом нет ничего удивительного, поскольку рыбацкие ко-



Ольга Александровна Филатова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории поведения животных кафедры зоологии позвоночных биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Специалист в области акустической коммуникации морских млекопитающих.



Татьяна Владимировна Ивкович, аспирантка кафедры зоологии позвоночных биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Занимается фотоидентификацией косаток и анализом их социальной и возрастной структуры.



Ольга Виленовна Шпак, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН и сотрудник Реабилитационно-оздоровительного центра «Дельфин и Я». Область научных интересов — популяционная биология и генетика дальневосточных белух и других видов китообразных.



Екатерина Александровна Борисова, аспирантка кафедры зоологии позвоночных биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Занимается генетическим анализом популяционной структуры дальневосточных косаток.



Иван Дмитриевич Федутин, техник биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, капитан научно-исследовательского катера. Обеспечивает организационно-техническую поддержку полевых работ.

© Филатова О.А., Ивкович Т.В., Шпак О.В., Борисова Е.А., Федутин И.Д., 2013



Различия в форме спинного плавника и седловидного пятна у рыбадных (слева) и плотоядных косаток.

Здесь и далее фото авторов

сатки отличаются от плотоядных не только выбором объекта охоты, но и поведением, социальной структурой и даже морфологически. Связано это прежде всего с особенностями жертв.

У тюленей, дельфинов и китов хороший слух и развитый интеллект, что позволяет им по звукам издали обнаруживать хищников, поэтому плотоядные «транзитники» живут небольшо-

ми семьями и немногословны, чтобы их было сложно заметить [3]. А лосось — добыча «резидентов» — не слишком умен, к тому же ему недоступны высокочастотные звуки, издаваемые косатками, поэтому они могут общаться в свое удовольствие, не рискуя остаться без обеда. Рыбадным косаткам, в отличие от плотоядных, даже выгодно ходить большими группами.

Рассредоточившись по акватории, они могут прочесывать обширный район в поисках рыбьего косяка, а уж когда обнаружат его, пищи хватит на всех. «Резиденты» образуют большие семьи с уникальной социальной структурой (матрилинии), в которых особи обоих полов всю жизнь остаются с матерью. Такие группы включают до четырех поколений животных [4].



Форма седловидного пятна у рыбадных косаток бывает довольно причудливой.

Плotoядные косатки в северо-восточной части Тихого океана формируют стабильные социальные связи, но в отличие от рыбацких, их семьи, состоящие из родственников по материнской линии, иногда лишаются одного из членов. Самец или самка, покинувшие родную семью, могут путешествовать в одиночестве или временно присоединяться к другой группе [5]. Такое поведение позволяет сохранять семью небольшого размера (в среднем три—четыре особи), что связано с охотничьей стратегией: небольшие группы косаток не так заметны для потенциальной жертвы. Пойманной добычи всегда хватит, чтобы разделить ее между несколькими членами семьи и восполнить энергию, затраченную на поиск и охоту [6].

У плотоядных косаток череп более мощный и крепкий, чем у рыбацких [7], спинной плавник — треугольный и заостренный, а расположенное за ним седловидное пятно обычно цельное, без вырезок, и, как правило, крупнее, чем у любителей лосося [8, 9]. У рыбацких косаток серповидный плавник слегка закруглен на верхушке, седловидное пятно может быть разной формы и нередко с вырезками, которые у отдельных особей довольно глубоки и порой придают ему причудливые очертания.

Столь значительные отличия и репродуктивная изоляция между обитающими в одном районе экотипами наводят на мысль, что рыбацкие и плотоядные косатки по сути — разные виды. Действительно, их можно разделить на два разных вида по большинству критериев: морфологическому (отличия в строении черепа, форме спинного плавника), экологическому (различия в пищевой специализации), этологическому (различия в поведении), физиолого-репродуктивному (отсутствие скрещивания). Правда, в неволе рыбацкие и плотоядные косатки скрещивались (точнее, те и другие

скрещивались с косатками из Северной Атлантики). Однако и многие прочие виды китообразных в неволе дают плодовитые межвидовые и даже межродовые гибриды. Например, в дельфинарии на Гавайях уже более 25 лет живет самка — гибрид дельфина-афалины (*Tursiops truncatus*) и малой косатки (*Pseudorca crassidens*). Животное оказалось плодовитым и родило трех детенышей от самцов-афалин.

Самые убедительные различия выявлены при анализе полной последовательности митохондриальной ДНК [8]. Оказалось, что рыбацкие и плотоядные косатки Тихого океана разошлись друг с другом более 700 тыс. лет назад, т.е. раньше, чем белый и бурый медведи! Более того, северо-тихоокеанские рыбацкие косатки оказались ближе к атлантическим и антарктическим сородичам, чем к плотоядным, живущим с ними бок о бок. Многие специалисты склоняются к тому, чтобы официально признать рыбацких и плотоядных косаток разными видами [10—12].

В российских водах

В российских водах планомерное изучение косаток началось лишь немногим более 10 лет назад на базе Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Основным научным полигоном стал Авачинский залив на юго-востоке Камчатки. Первые пробные исследования здесь были проведены в 1999 г., а с 2000 г. каждое лето в заливе работает экспедиция Дальневосточного проекта по косатке*, в задачи которой входят исследования не только косаток, но и других китообразных в этом регионе.

Первые годы в Авачинском заливе мы встречали только рыбацких косаток. Каждую замеченную группу фотографировали

и заносили всех особей в каталог. Форма спинного плавника и седловидного пятна у косаток настолько индивидуальна, что по фотографии можно отличить каждое животное. Помогают в этом и многочисленные естественные метки — царапины и шрамы на коже косаток и «зарубки» на заднем крае спинного плавника.

Наблюдая из года в год одних и тех же особей, мы выяснили, что практически все время они проводят в семьях постоянного состава. За все годы наблюдений мы идентифицировали 605 особей из 62 семей рыбацких косаток, причем 32 семьи (226 особей) посещают залив регулярно. Постепенно, по мере того как каталог увеличивался, мы научились узнавать те семьи, которые бывают в заливе систематически, и поняли, что животные не переходят из одной семьи в другую. Состав семьи меняется только в том случае, когда кто-нибудь гибнет или рождается новый детеныш. Например, семья взрослой самки Гусли (AV019), за которой мы ежегодно наблюдаем в течение 13 лет, в 2000 г. состояла из этой самки и ее троих детей: самки-подростка (AV020), молодого самца (AV018) и взрослого самца (AV021). В 2004 г. у Гусли появился новый детеныш (AV019a), а самец AV018 достиг половой зрелости. К 2006 г. самка AV020 тоже повзрослела, и у нее появился свой детеныш (AV020a), который к началу полевого сезона следующего года, к сожалению, погиб. Не дожил до годовалого возраста и детеныш, появившийся у Гусли в 2009 г., но в 2012 г. она вновь родила. С 2000 г. никто из животных не покинул семью, каждый раз, когда мы их встречали, они были вместе.

«Резиденты» Авачинского залива по всем признакам социальной организации соответствуют рыбацким косаткам северо-восточной части Тихого океана [13, 14]. Семьи также состоят из животных разного пола и воз-

* <http://russianorca.org>



Генеалогия семьи Гусли. Пунктирными линиями обозначены родственные связи животных, родившихся до начала исследований.

раста, включают как минимум одну половозрелую самку, которую часто сопровождает один или два разновозрастных детеныша. Мы заметили, что и самцы, и самки, достигнув половой зрелости, сохраняют тесные связи со своей матерью и не покидают семью. В таких семьях в среднем

семь, максимум 15 особей, родственных по материнской линии. Нередко мы видели группы и большего размера (средний размер группы — 28,6 особей), но оказалось, что это — несколько семей рыбацких косаток, которые объединялись и некоторое время ходили вместе.

В последнее десятилетие плотоядных косаток в Авачинском заливе мы встречали только 11 раз. Из 26 идентифицированных особей 15 мы видели дважды, что, конечно, недостаточно для анализа постоянства социальных связей между особями. Но различия между размерами групп «резидентов» и «транзитников» были очевидны и достоверны. Средний размер группы плотоядных косаток — 3,6 особи. Пять раз мы встречали одиночных «транзитников».

Рыбацкие косатки уникальны еще и тем, что у каждой семьи есть свой собственный набор стереотипных звуков — вокальный диалект [15]. Семьи, не так давно отделившиеся от предковой, с практически одинаковыми диалектами относят к одному племени, с разными, но все же имеющими общие черты, к разным племенам одного клана, а с совсем несхожими диалектами — к отдельным кланам. Проанализировав записи наших знакомых семей из Авачинского залива, мы смогли определить их диалекты и выяснили, что там встречаются косатки трех раз-



Подросток AV019a со своей матерью AV019 (Гусли), 2011 г.



Плотоядные косатки в Авачинском заливе.

ных акустических кланов. Самый обычный и многочисленный — Авачинский клан, в нем мы выделили как минимум 13 различных племен. Не так часто, но достаточно регулярно посещают залив несколько семей из клана К20. Косатки из третьего клана (К19) — редкие гости в заливе. Похоже, что основной район их обитания находится где-то еще, а к нам они заходят эпизодически.

У плотоядных косаток нет семейных диалектов. И это понятно — состав групп у них менее стабилен, поэтому набор звуков в целом общий для всей популяции. Да и кричат они гораздо реже — нам лишь трижды удалось записать их звуки за все годы наблюдений.

Рыбалка и охота

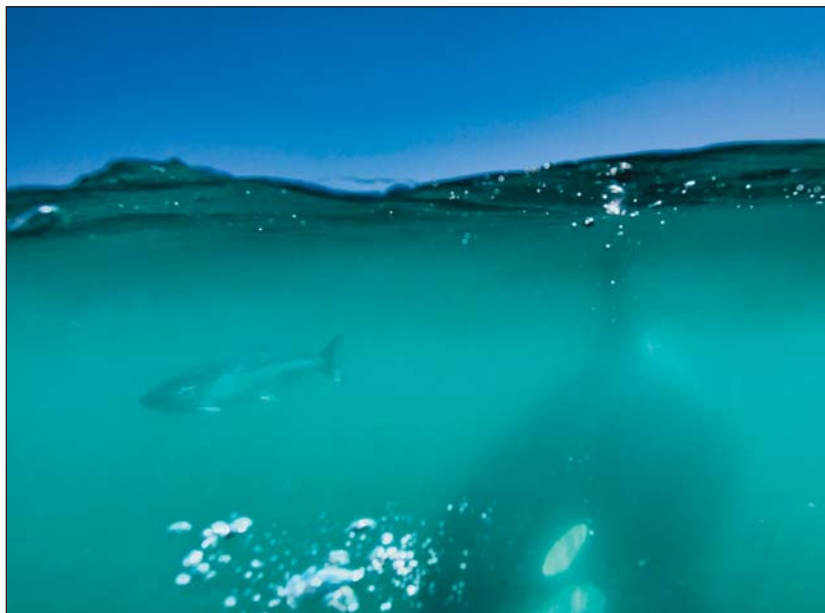
Основная добыча рыбацких косаток в Авачинском заливе — разные виды лосося (*Oncorhynchus* sp.) и северный одноперый терпуг (*Pleurogrammus monopterygius*). Косатки точно знают, где искать терпуга — в период

нереста его самцы, охраняя икру, долгое время держатся на выдающихся в море каменных подводных гребнях, чаще всего приуроченных к мысам [16]. Несмотря на небольшие размеры, терпуг — ценный пищевой ресурс для косаток, но здесь интересы косаток сталкиваются с интересами человека. В Авачинском заливе уже практически истощено одно из самых крупных нерестовых скоплений терпуга возле юго-восточного побережья Камчатки [17]. А ведь до 2006 г. это было важнейшее место охоты рыбацких косаток. В районе мыса Опасный и о.Старичков в начале 2000-х годов рыбаки добывали терпуга в огромных количествах — его можно было ловить просто на голый крючок. В результате недостаточно активной работы рыбнадзора и неконтролируемого вылова это нерестовое скопление было разорено, и косатки полностью переключились на лосося. Пока не ясно, какие именно его виды входят в рацион авачинских косаток. В нескольких случаях, когда нам удавалось выловить

из моря остатки их трапезы, это оказывалась кета (*Oncorhynchus keta*). Но не исключено, что они могут кормиться и другими видами, например горбушей (*Oncorhynchus gorbuscha*). Свидетельство тому — связь двухлетних циклов колебания ее численности с охотничьим поведением косаток [18].

Рыбацкие косатки никогда не нападают на других морских млекопитающих, да и те несколько их не боятся. Мы неоднократно наблюдали, как к группе косаток присоединяются белокрылые морские свиньи (*Phocoenoides dalli*) и идут с ними наперегонки, а в районе Командорских о-вов точно так же ведут себя северные морские котики (*Callorhinus ursinus*).

Плотоядных косаток мы впервые встретили в 2003 г. в бухте Русская. Небольшая группа шла вдоль берега к мысу Кекурный, где находится залежка сивучей. Вопреки нашим ожиданиям, косатки не тронули сивучей, а спокойно прошли мимо и двинулись дальше на юг. С тех пор мы регулярно, один-два раза за сезон, наблюдали плотоядных



Охота рыбоядной косатки на лосося.

Фото А.Кузьмина

косаток в заливе, но долгое время отличали их от рыбоядных только по внешним признакам, а не по охотничьим пристрастиям. Лишь в 2010 г. наконец удалось убедиться в том, что они действительно плотоядные. Мы наткнулись на группу косаток, которые медленно кружили

и ныряли в одном и том же месте, доедая малого полосатика (*Balaenoptera acutorostrata*). К охоте мы, к сожалению, опоздали, но успели к трапезе и смогли определить вид добычи.

В связи с разными стратегиями охоты плотоядные и рыбоядные косатки по-разному ис-

пользуют акваторию [19]. Те из них, которые охотятся на тюленей, заходят в небольшие глубокие бухточки в поисках добычи. Рыбоядные косатки ни разу не появились вблизи мыса Зеленый (у входа в бухту Вилючинская), где мы вели ежедневные наблюдения, а вот плотоядные приходили туда дважды. В первый раз самец зашел в бухту Вилючинская и держался в 200 м от берега, рядом с местом залежки пятнистых тюленей (*Phoca largha*). Во второй — самец и самка плотоядных косаток поседали добычу рядом с рифами (камни Лаперуза) не более чем в 500 м от берега.

Как охотятся плотоядные косатки на северных морских котиков, можно ежегодно наблюдать возле их лежбищ на Командорских о-вах [20, 21]. Нередко одна и та же семья косаток навдывается туда несколько раз на протяжении сезона.

В прибрежных водах западной части Охотского моря, в отличие от восточного побережья Камчатки, преобладают косатки плотоядного экотипа. В 2011 и 2012 гг. мы видели их в заливах Ульбанский и Николая к югу от



Морские котики, безбоязненно сопровождающие группу рыбоядных косаток.

Здесь и далее фото авторов

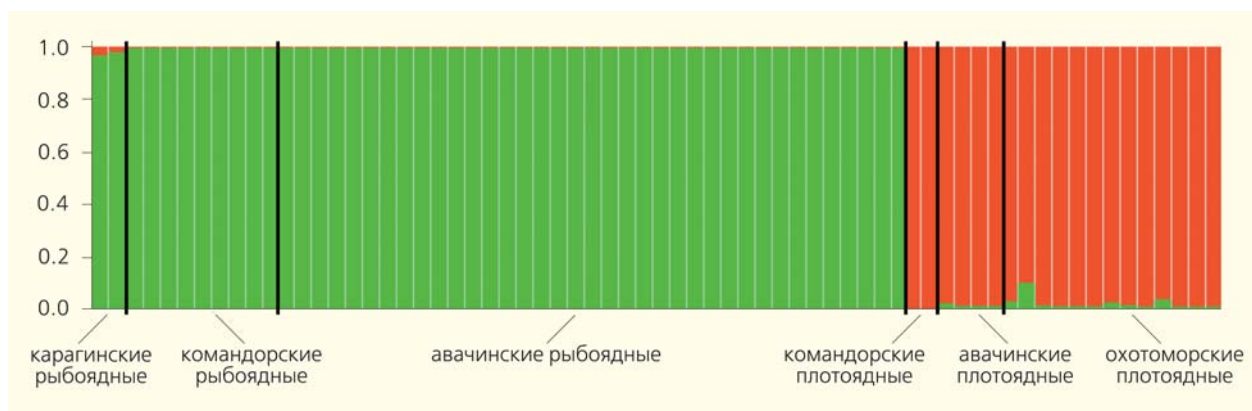


Плотоядная косатка с куском мяса и шкуры лахтака.

Шантарских о-вов. В этих местах в летнее время кормится много тюленей, нагуливаются стада белухи (*Delphinapterus leucas*) и гренландского, или полярного, кита (*Balaena mysticetus*). Увы, наблюдать сам процесс охоты нам не приходилось, но дважды мы заставали косаток за трапезой: они лакомились морским зайцем, или лахтаком (*Erignathus barbatus*). Шрамы от зубов косаток нередко видны на теле полярных китов, а однажды на берег залива выбросило рванный труп одного из них, и «почерк» охотников прослеживался очень четко. Известно, что, например, у серых китов косатки обычно выедают язык. В нашем случае у кита также была разорвана нижняя челюсть, отсутствовал язык, была повреждена верхняя часть грудной клетки, на плавниках и хвосте присутствовали

многочисленные царапины. Вторым труп молодого кита был обнаружен в море, поэтому мы не смогли его всесторонне обследовать. Существенных повреждений находящегося над водой частей тела заметно не было, но на хвостовом плавнике выделялись свежие следы зубов косатки. В соседнем Сахалинском заливе наши коллеги (Д.М.Глазов) также наблюдали за косатками, поедающими лахтака. Опросив работников рыбопромышленного и старательского флотов в районе так называемого Шантарского моря, мы узнали, что им нередко приходилось видеть здесь, как косатки нападают на детенышей полярных китов и на тюленей всех трех видов, обитающих здесь летом. Возможно, что в заливах Шантарского моря белухи тоже могут представлять собой объект хищничества косаток.

Обычно плотоядные косатки охотятся небольшими семьями из нескольких (обычно 3–5) особей. Иногда встречаются группы и побольше — из 10–15, изредка — 20 косаток, которые ненадолго объединяются для охоты, например на кита. Однако в 2011 г. в Ульбанском заливе нас ждал сюрприз: мы неоднократно видели группу из 30 или более косаток. Справедливости ради стоит отметить, что внутри группы все же была заметна некая раздробленность. Следующим летом мы встретились лишь с частью этой «большой компании» — всего с шестью особями. Зато в заливе Николая появилась новая группа из 11 косаток; мы не видели, как и на кого они охотятся, но по морфологическим признакам они принадлежали к плотоядному экотипу.



Результаты генетического анализа. Каждый столбик соответствует одному животному, а относительная доля разных цветов в его окраске обозначает вероятность принадлежности данной особи к определенному репродуктивному кластеру.

Генетический анализ

Чтобы выяснить, относятся ли рыбацкие и плотоядные косячки российских вод к разным популяциям, подобно североамериканским сородичам, мы провели генетический анализ образцов кожи. Чтобы взять у косячки такой образец, в нее стреляют из арбалета специальной стрелой, на конце которой закреплена металлическая трубочка с острыми краями. Эта трубочка на пару сантиметров проникает в тело косячки, а пластиковый поплавок на стреле смягчает удар и отталкивает ее назад. Таким образом высекается столбик кожи и жира, который остается внутри наколечника, когда стрела отскакивает от животного. Обычно косячки не проявляют существенного беспокойства в ответ на выстрел.

Мы собрали 67 проб кожи: 48 — от рыбацких косячков (37 — из Авачинского залива, две — из Карагинского, девять — из акватории Командорских о-вов) и 19 — от плотоядных косячков (четыре — из Авачинского залива, две — из района Командорских о-вов и 13 — из западной части Охотского моря). Используя эти пробы, мы провели анализ частот аллелей девяти микросателлитных локусов ядерной ДНК. С помощью анализа изменчивых участков

ДНК, состоящих из повторяющихся последовательностей, мы установили принадлежность особей к определенной популяции. Отличие рыбацких косячков от плотоядных по частотам аллелей оказалось достоверным и достаточно высоким. По результатам кластерного анализа наиболее отличимыми оказались косячки именно различных экотипов — рыбацкие и плотоядные. Рыбацкие косячки из всех трех районов генетически представляли собой достаточно однородную группу: все пробы с высокой вероятностью относились к одному и тому же кластеру. Плотоядные косячки резко отличались от рыбацких по частотам аллелей, что говорит о репродуктивной изоляции между экотипами.

* * *

Таким образом, рыбацкие и плотоядные косячки российских вод обладают столь же яркими признаками обособленности друг от друга, что и косячки тихоокеанских вод Северной Америки. Они различаются пищевой специализацией, структурой и размером групп, акустической активностью, морфологическими признаками, а также генетически. Несомненно, в ближайшем будущем систематики разделят их на разные виды или по крайней мере подвиды, но уже сейчас

следует рассматривать эти экотипы отдельно при определении природоохранного статуса и оценке антропогенного влияния. Плотоядные косячки более малочисленны и уязвимы, так как они находятся на более высоком трофическом уровне, и воздействия на экосистему сказываются на них в большей степени. С другой стороны, рыбацкие косячки больше привязаны к определенным районам обитания, из-за чего канадские ученые и называли их «резидентными». Поэтому локальное воздействие на косячок в определенном районе может быть более опасным именно для животных рыбацкого экотипа.

Численность косячки как вида, не говоря о представителях каждого из экотипов в отдельности, в водах Дальнего Востока России остается неизвестной. Специальные работы по учету косячков никогда не проводились. Имеются лишь данные сопутствующих наблюдений, которые указывают, что количество косячков снижалось в конце XX в. [22]. До тех пор, пока не будут проведены работы по изучению численности и скорости воспроизводства популяций рыбацких и плотоядных косячков, необходимо ввести полный запрет на отлов и другие виды изъятия этих животных из природных популяций. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-04-00460-а), Rufford small grants for nature conservation, Whale and dolphin conservation (Великобритания).

Литература

1. Ford J.K.B., Ellis G.M., Barrett-Lennard L. et al. Dietary specialization in two sympatric populations of killer whales (*Orcinus orca*) in coastal British Columbia and adjacent waters // Can. J. Zool. 1998. №76. P.1456—1471.
2. Barrett-Lennard L.G. Population structure and mating patterns of killer whales, *Orcinus orca*, as revealed by DNA analysis. Ph.D. thesis, University of British Columbia, Vancouver, 2000.
3. Deecke V.B., Ford J.K.B., Slater P.J.B. The vocal behaviour of mammal-eating killer whales (*Orcinus orca*): Communicating with costly calls // Animal Behaviour. 2005. №69. P.395—405.
4. Ford J.K.B. Killer whales // The Encyclopedia of Marine Mammals / Ed. W.F. Perrin, B.Würsig, J.G.M.Thewissen, NY, 2002. P.669—676.
5. Baird R. W., Whitehead H. Social organization of mammal-eating killer whales: group stability and dispersal patterns // Can. J. Zool. 2000. V.78. P.2096—2105.
6. Baird R.W., Dill L.M. Ecological and social determinants of group size in transient killer whales // Behav. Ecol. 1996. V. 7. P.408—416.
7. Krabn M.M., Ford M.J., Perrin W.F. et al. Status review of Southern Resident killer whales (*Orcinus orca*) under the Endangered Species Act. // U.S. Dep. Commer. NOAA Tech. Memo NMFSNWFSC-62. 2004.
8. Baird R.W., Stacey P.J. Variation in saddle patch pigmentation in populations of killer whales (*Orcinus orca*) from British Columbia, Alaska, and Washington State // Can. J. Zool. 1988. №66. P.2582—2585.
9. Ивкович Т.В. Структура населения косаток (*Orcinus orca*) Авачинского залива. Дис. ... магистр. биол. наук. СПбГУ. 2006.
10. Morin P.A., Archer F.I., Foote A.D. et al. Complete mitochondrial genome phylogeographic analysis of killer whales (*Orcinus orca*) indicates multiple species // Genome Research. 2010. №20. P.908—916.
11. Baird R.W., Abrams P.A., Dill L.M. Possible indirect interactions between transient and resident killer whales: implications for the evolution of foraging specializations in the genus *Orcinus* // Oecologia. 1992. №89. P.125—132.
12. Reeves R. R., Perrin W. F., Taylor B. L. et al. Report of the Workshop on Shortcomings of Cetacean Taxonomy in Relation to Needs of Conservation and Management, April 30 — May 2, 2004, La Jolla, California // NOAA Tech. Memo NMFSNWFSC. 2004. №363.
13. Bigg M.A., Olesiuk P.F., Ellis G.M. et al. Social organization and genealogy of resident killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia and Washington State. Report of the International Whaling Commission. №12. 1990. P.383—405.
14. Matkin C., Ellis G., Olesiuk P. et al. Association patterns and inferred genealogies of resident killer whales, *Orcinus orca*, in Prince William Sound, Alaska // Fish. Bull. 1999. V.97. P.900—919.
15. Ford J.K.B. Vocal traditions among resident killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia // Can. J. Zool. 1991. №69. P.1454—1483.
16. Нагайлик М.М., Филатова О.А., Ивкович Т.В. и др. Использование пространства косатками (*Orcinus orca*) в акватории Авачинского залива полуострова Камчатки // Зоол. журн. 2010. Т.89. №4. С.484—494.
17. Золотов О.Г. Воспроизводство и прибрежный промысел северного одноперого терпуга в Авачинском заливе // Рыбное хоз-во. 2004. Вып. 6. С.41.
18. Нагайлик М.М., Бурдин А.М., Хойт Э. Численность лососевых как фактор, определяющий активность рыбоядных косаток // Материалы круглого стола по косатке. VII Международная конференция «Морские млекопитающие Голарктики». 2012. С.26—29.
19. Morton A.B. A quantitative comparison of the behaviour of resident and transient forms of the killer whale off the central British Columbia coast // Report of the International Whaling Commission. 1990. №12. P.245—248.
20. Мамаев Е.Г., Буржанов В.Н. Косатки (*Orcinus orca*) и северные морские котики (*Callorbinus ursinus*) Командорских о-вов: формирование пищевой специализации? // Материалы VI Международной конференции «Морские млекопитающие Голарктики». 2006. С.347—351.
21. Белонович О.А., Фомин С.В., Рязанов С.Д. Транзитные косатки Командорских островов // Материалы круглого стола по косатке. VII Международная конференция «Морские млекопитающие Голарктики». 2012. С.15—17.
22. Перлов А.С., Швецов Е.П. Распределение и динамика численности косаток (*Orcinus orca*) в северо-западной части Северной Пацифики в 1935—1988 гг. // Материалы III Международной конференции «Морские млекопитающие Голарктики». 2004. С.451—455.

Глубоководные обитаемые аппараты «Мир» на Байкале

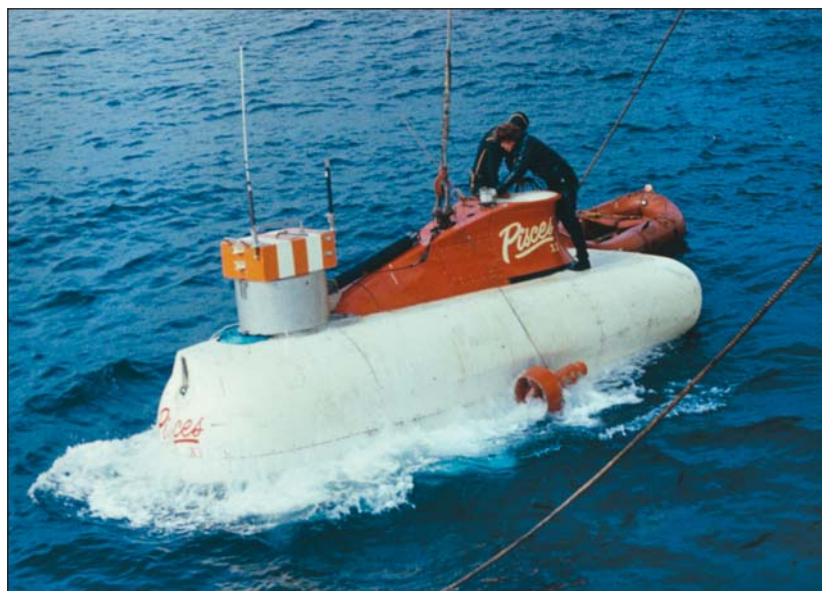
А.М.Сагалевич,
доктор технических наук, Герой России
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН
Москва



В 2008—2010 гг. на оз. Байкал проводились научные экспедиции с использованием глубоководных обитаемых аппаратов (ГОА) «Мир-1 и -2». Я был бессменным руководителем этих работ. Финансировались исследования Фондом содействия сохранению озера Байкал и велись в основном сотрудниками Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (ИО РАН) и Лимнологического института СО РАН (ЛИН СО РАН).

Первые исследования Байкала относятся к началу XIX в., когда там открыли водомерные посты. Научные наблюдения были обусловлены потребностями человека в использовании природных ресурсов и не отличались систематичностью. Измерения проводились попутно с географическими работами, а озераведение в основном развивалось в связи с запросами рыболовства. Но со временем лимнология оформилась как самостоятельная область науки и исследования Байкала приобрели комплексный характер, особенно после создания Лимнологического института [1]. Вскоре появился и научный флот, была организована водолазная группа, которая проводила непосредственные визуальные наблюдения на небольших глубинах. Активное участие в изучении Байкала принимали и другие учреждения Сибирского отделения Академии наук: Институт земной коры, Институт геохимии, а также ученые и студенты Иркутского университета и других организаций. Благодаря этим многолетним исследованиям накопился большой объем данных о природе озера, его геологическом строении, биологической активности и др.

Настоящим прорывом в изучении Байкала стала экспедиция 1977 г. с применением подводных обитаемых аппаратов «Пайсис VII» и «Пайсис XI» (с рабочей глубиной до 2000 м), организованная ИО РАН и ЛИН СО РАН



Подводный обитаемый аппарат «Пайсис VII» на Байкале. 1977 г.

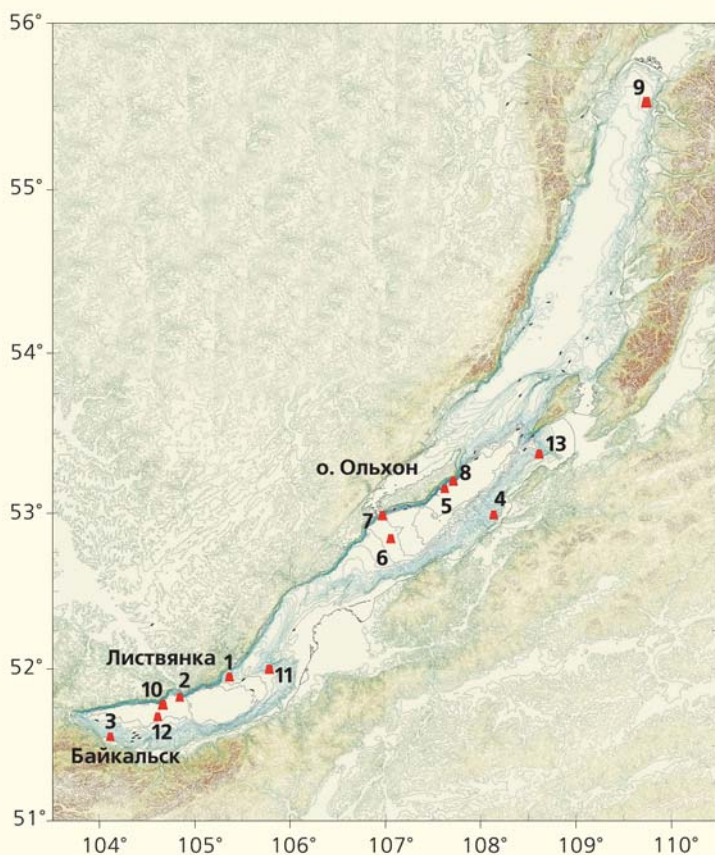
[2]. Исследования на «Пайсисах» продолжились и в международной экспедиции 1990—1991 гг., в которой участвовала большая группа американских ученых. Применение подводных обитаемых аппаратов позволило повторно взглянуть на природу озера, проследить развитие этого мощного посреди континента тектонического разлома, постоянно находящегося в движении и медленно раздвигающегося в поперечном направлении. Ученые

впервые смогли сами взглянуть на обнажения горных пород на дне, провести прямые палеолимнологические исследования с прицельным отбором геологических и биологических образцов, с видео- и фотосъемкой, с гидрофизическими, гидрохимическими измерениями и т.д.

И вот спустя 17 лет в изучении подводного мира Байкала приняли участие глубоководные обитаемые аппараты нового поколения «Мир-1 и -2». И де-



Глубоководные обитаемые аппараты «Мир» на Байкале.



Карта районов погружений аппаратов «Мир-1 и -2» в экспедициях 2008—2010 гг. Треугольниками показаны полигоны: 1 — Большой Голоустный; 2 — Листвянка; 3 — Байкальский ЦБК; 4 — Турка; 5, 8 — мыс Ижмей; 6 — вулкан Санкт-Петербург; 7 — Ольхонские ворота; 9 — бухта Фролиха; 10 — мыс Бакланый; 11 — Посольская банка; 12 — мыс Толстый; 13 — мыс Горевой Утес.

ло не только в их глубине погружения (6000 м), но и в том, что благодаря своему хорошему техническому оснащению они давали возможность проводить научные работы на качественно другом уровне, позволяющем обнаруживать и изучать аномальные явления на дне с обеспечением точной навигационной привязки [3]. Кроме того, и ученые, и пилоты аппаратов прошли уже большую школу комплексных глубоководных исследований в пучинах океана.

Основным направлением работ на Байкале стал поиск областей разгрузки углеводородов на дне, мест сочтения метана и возможных гидротермальных излияний, вокруг которых часто

образуются бактериальные маты и поселяются специфические животные, существующие за счет метанотрофии и хемосинтеза. Во время экспедиций 2008—2010 гг. было совершено 178 погружений на «Мирах», главным образом в средней и южной частях озера. В 2010 г. несколько погружений сделали и в северной части Байкала — в бухте Фролиха.

В первой экспедиции (2008) мы работали на 14 полигонах, погружались 53 раза и провели под водой более 300 ч, 192 из которых — на грунте. Одни из важнейших результатов того периода — локализация зон глубинных нефте- и газосодержащих флюидов на дне озера и оп-

ределение интенсивности их разгрузки.

Мыс Горевой Утес. В 2005 г. в этом районе, примерно в 10 км от берега, ученые Лимнологического института зафиксировали большие пятна нефтяных пленок, распространяющиеся на поверхности в радиусе до 1 км.

Во время работ на «Мирах» мы также нашли локальные места разгрузки нефтесодержащих флюидов, отобрали пробы для определения фоновых концентраций углеводородов, пробы планктона, ихтиопланктона и донных животных.

В фоновой области, непосредственно прилегающей к району высачивания нефти и газа, а также в самой зоне нефтепроявлений отмечено большое количество «морского снега» (скопления планктона) во всей толще воды от глубины 100—150 м до самого дна.

В диапазоне глубин 863—877 м донные осадки представлены современными светло-коричневыми илами и глинистыми бело-голубыми и оливково-серыми ледниковыми отложениями, обнажившимися в результате схода со склона оползня. Рельеф дна неровный, холмистый, с перепадами высот до 100 м. Здесь мы увидели отдельные холмы высотой до 1 м и диаметром до 3 м, покрытые темно-коричневыми и черными корками, а также стенку высотой около 1 м и длиной до 5 м, образованную более мелкими холмами с тонкими коническими постройками, похожими на потухшие «курительницы». Они были плотно заселены амфиподами, планариями и моллюсками.

На глубине 869 м обнаружили темно-коричневую трубку высотой ~1.5 м и диаметром 2 м (напоминающую гидротермальную) из битума, асфальтенов и парафинов. Из ее верхней части каждые 24—28 с высачивались капли (диаметром 0.5—1 см) коричневой нефти, которые быстро поднимались к поверхности. Из этой же построй-

ки с периодичностью 20–30 с выделялись пузырьки газа.

Нефть сочилась также из небольших битумных построек на глубине 899 и 906 м. Во время погружений экипажи «Миров» измеряли температуру в местах сочтения нефти и маркировали постройки для последующих наблюдений. Иногда, если нарушалась целостность поверхности осадка манипулятором или касались илистого слоя лыжи аппаратов, происходили выбросы нефти и газа. Разгрузка газо- и нефтесодержащих флюидов наблюдалась и из многочисленных воронок диаметром 5–40 см.

В районах высачивания нефти и газа из иллюминаторов аппаратов проводились визуальные наблюдения за обитателями подводного мира. Исследовались вертикальное распределение планктона и ихтиопланктона, поведение и ориентация в пространстве массовых эндемичных видов рачков *Macrobectopus branickii* и *Epishura baicalensis*, а также рыбки голомянки рода *Cotemporus*. Все они входят в состав единой пищевой цепи в сообществах склоновых и центральных областях Байкала.

Оказалось, что в верхних слоях воды (0–350 м) нет крупных пелагических животных. Лишь на глубине около 400 м появляются единичные экземпляры довольно большого (25–35 мм) рачка *M.branickii*, ориентированного головой вниз, и с увеличением глубины его численность возрастает. На расстоянии около 100 м от дна наблюдалась разноразмерная популяция рачков, при этом более мелкие особи были также ориентированы головой вниз.

В придонном слое (несколько метров от дна) голомянки ныряли в ил, взмучивая его хвостовым плавником и оставляя на поверхности осадка специфические следы, а иногда прятались в норки. Одновременно на дне в поле нашего зрения присутствовало пять-шесть особей разной величины. Подобное

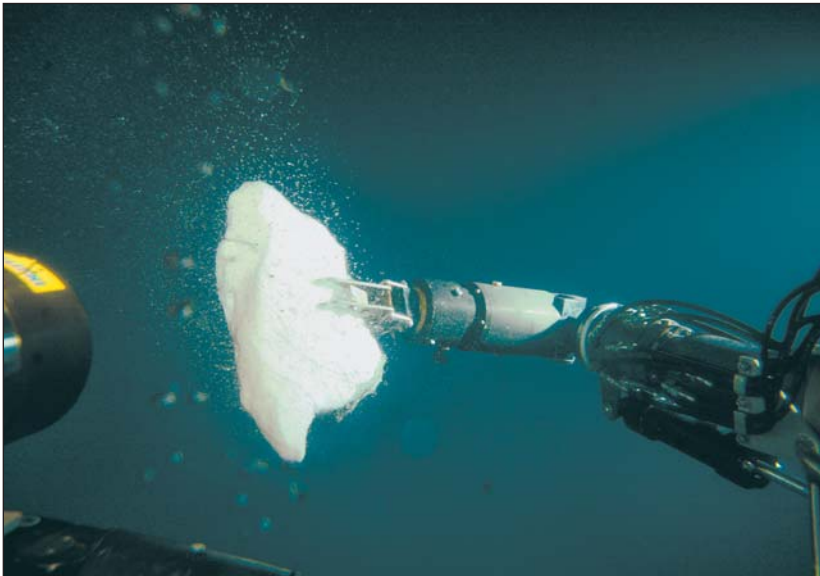
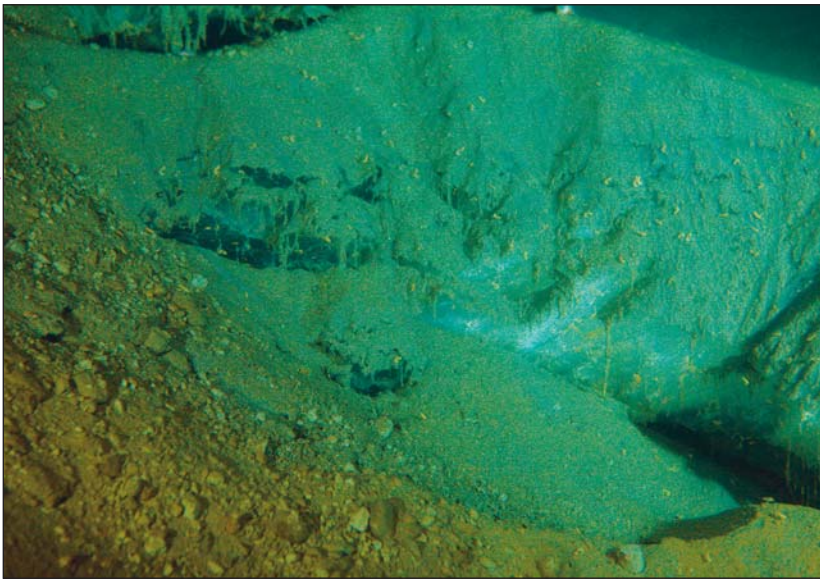


Нефтяные пятна естественного происхождения на поверхности озера вблизи мыса Горевой Утес (вверху) и битумная постройка с высачиванием нефтяных капель.

распределение и поведение голомянок в придонном слое на довольно большой площади отмечалось впервые. Биологи пришли к выводу, что эти рыбы не принадлежат к чисто пелагическим обитателям Байкала.

При визуальных наблюдениях с аппаратов определяли и видовой, и размерный состав массовых эндемичных видов в придонной области и на поверхности осадков, а также поведенческие реакции различных ракообразных, коттоидных рыб (бычков-подкаменщиков) и рес-

ничных червей (турбеллярий). Мелкие разноногие рачки (амфиподы) зарывались в ил и находились в нем достаточно длительное время. Некоторые особи были белого цвета, что характерно для представителей абиссальной фауны. Крупные же амфиподы различались по окраске и поведению: некоторые рачки сидели на небольших холмиках, другие активно передвигались по поверхности дна. По приблизительной оценке, концентрация амфипод (четырёх видов) и турбеллярий (двух



Монолитный газогидратный холм под слоем осадка (вверху) и кусок твердого газогидрата в манипуляторе аппарата «Мир».

видов) достигала 10–12 особей на 1 м² грунта.

Подводный грязевой вулкан Санкт-Петербург. Важнейшим фундаментальным открытием, сделанным во время работ в 2009 г., стало обнаружение в этом районе большого поля холмов, состоящих из твердых ледоподобных газогидратов, слегка припорошенных осадками [4]. Грязевой вулкан нашли ученые из Лимнологического института в 2002 г. Однако в течение семи лет никто и не подо-

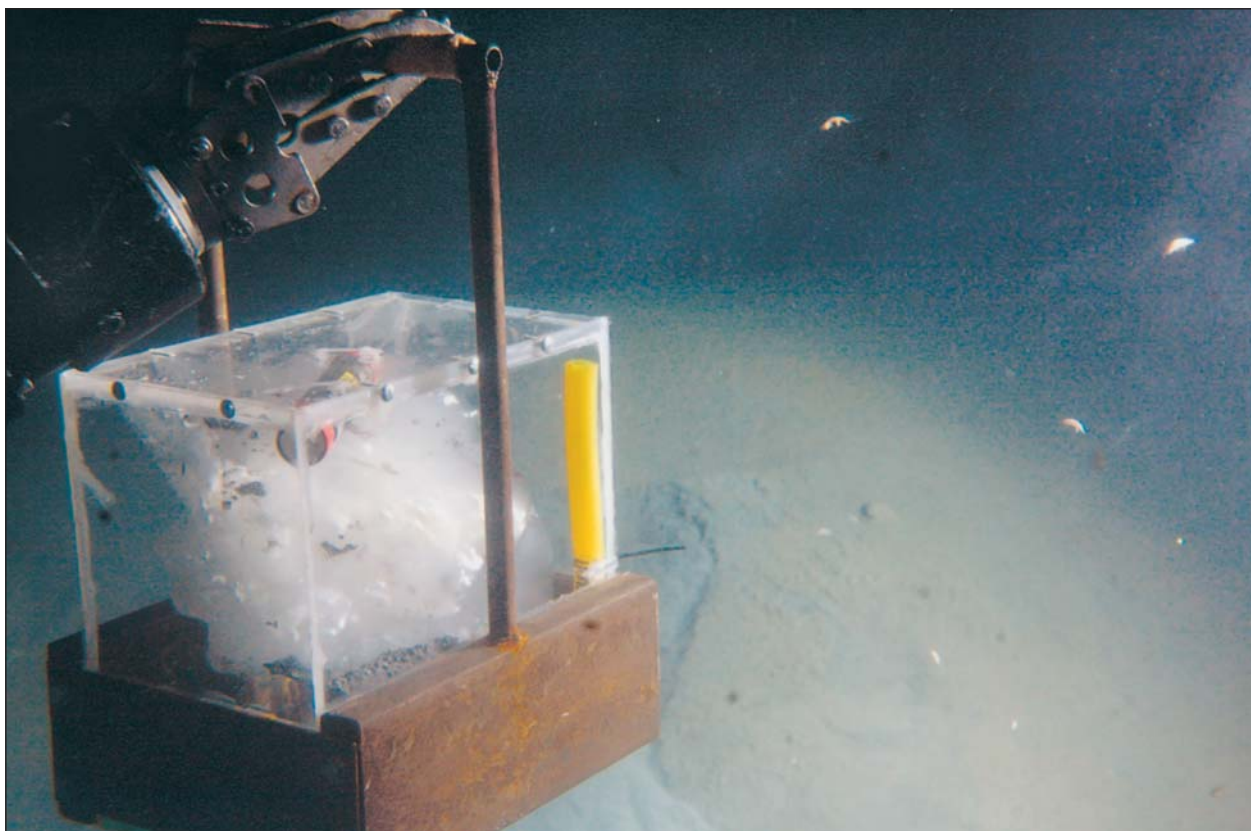
зрел о существовании там монолитных газогидратов. Это открытие выходит далеко за рамки исследования собственно Байкала. Газовые гидраты — кристаллические соединения метана с водой — емкий резервуар энергетического сырья. В одном кубометре гидрата содержится до 162 м³ газа. По современным оценкам, ресурсы метана в природных газовых гидратах Мирового океана могут превышать ресурсы всех горючих полезных ископаемых на суше.

В 2010 г. мы продолжили работу вблизи грязевого вулкана Санкт-Петербург. Был обозначен газогидратный район размером ~100×100 м, на территории которого располагались три больших и множество мелких газогидратных холмов [5]. Кроме того, под небольшим слоем осадка там практически везде залегают монолитные газогидраты, в том числе и на относительно ровном дне у подножия холмов. Наблюдались и струйные высачивания метана из осадка. Именно они формировали на экране эхолота специфический газовый факел. При многочисленных погружениях «Мир» были отобраны пробы грунта, воды и бентосных животных. Во многих местах разгрузки глубинных флюидов встречались пленочные бактериальные маты, покрывающие газогидраты.

Здесь же были обнаружены желеподобные органические образования, представляющие собой небольшие комочки размером 1–3 см. Изотопный анализ, сделанный в ЛИНе, показал, что и бактериальные маты, и желеподобные комочки существуют здесь за счет метанотрофии.

Геотермическими исследованиями установлено лишь небольшое превышение геотермического градиента над фоном, что нетипично для активного грязевого вулканизма. Это очень важная информация, которая позволяет сделать вывод о преимущественной роли фазового состояния метана, формирующего газогидраты. На полигоне получены данные о высоком потоке метана непосредственно из осадка в воду и незначительном потоке кислорода в осадок.

В экспедициях 2008–2009 гг. под руководством А.Н.Рожкова (Физический институт РАН) разрабатывалась методика поиска газогидратов по аномалиям метана в воде с помощью датчика, установленного на ГОА «Мир». Так был обнаружен первый газогидратный холм. При погруже-



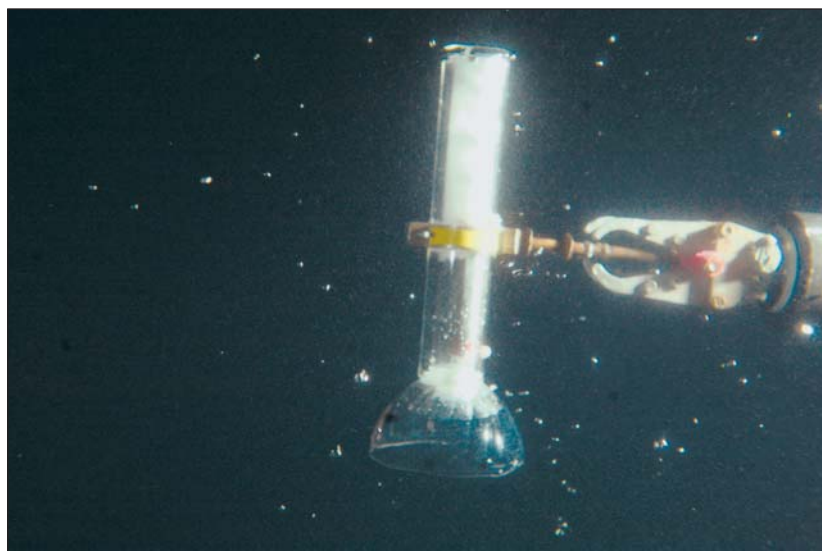
Манипулятор ГОА «Мир» переносит контейнер с газогидратом.

ниях провели ряд экспериментов по формированию и разложению газогидратов из пойманной ловушкой пузырьрей метана по методике, разработанной А.В.Егоровым (ИО РАН). Впервые наблюдалось формирование твердой газогидратной пены из пойманных пузырьрей и ее разрушительное действие при подъеме аппарата — несколько ловушек разрушились на глубине 700 м (существенно ниже положения фазовой границы устойчивости газогидратов). Мы также обнаружили, что газогидратно-ледяные пробки образуются выше положения фазовой границы. Эти результаты очень важны для разработки будущих технологий доставки и транспортировки метана с больших глубин.

Район Большой Голоустный. Здесь мы тоже встретились с газогидратами. Это поле, расположенное на глубине 420 м, — самое мелководное газогидратное поле в мире. Оно характери-

зуется исключительно мощным потоком метана из осадков, достигающим поверхности воды. Нам удалось проследить за газовыми пузырьками до самого дна, где была обнаружена геологиче-

ская структура в виде каньона с вертикальными стенками, связанная, по-видимому, с интенсивным выбросом газа из осадка. Борты этого каньона образованы рыхлыми отложениями.



Сбор газа в ловушку на глубине 404 м.

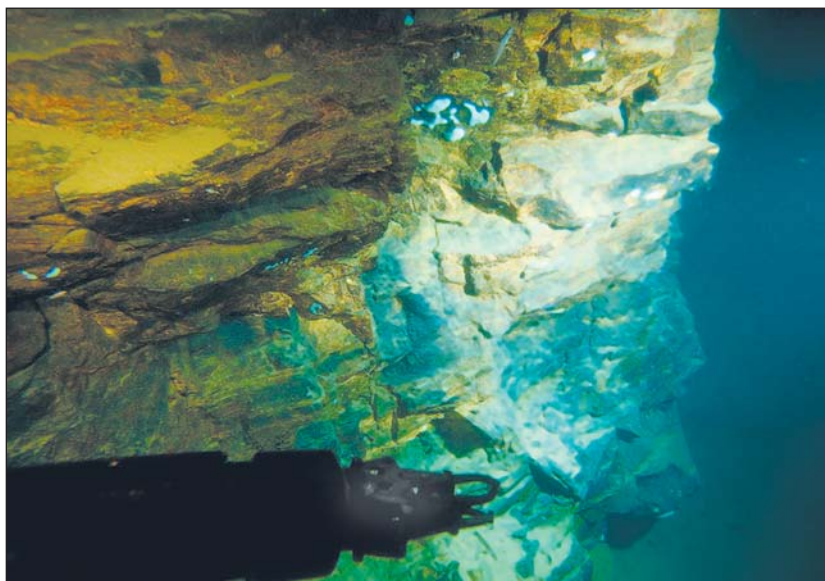


Поле бактериальных матов на дне бухты Фролиха (глубина 409 м).

Среди них отмечен полупрозрачный горизонтальный пропласток мощностью до 20 см и длиной до 5–6 м, похожий на газогидрат. Здесь отобраны пробы газа, выходящего со дна, осадки и образцы бентосных организмов. Изотопный состав последних показал, что они так же, как и на поле Санкт-Петербурга, существуют за счет метанотрофии.

Посольская банка. В этом районе, расположенном вблизи

мощного осадочного образования — Селенгинской авандельты, в 2009–2010 гг. проводились интересные исследования разгрузки газа. Посольская банка представляет собой потенциально нефтегазоносный район, что подтверждается ранее выявленными аномалиями в содержании углеводородных газов и в воде, и в осадках. Все аномалии при этом имели общую черту — высокий уровень этана по отношению к метану. Здесь в на-



Горизонтальная поверхность террасы, заканчивающаяся сбросовым уступом.

ших экспедициях впервые на Байкале были обнаружены необычные цветные бактериальные маты. Судя по анализам, проведенным биологами ЛИНа, сообщества бактерий из этих образцов существовали как за счет метанотрофии, так и за счет хемосинтеза. Под слоем осадка мы нашли газогидрат. Его небольшие фрагменты, отломанные манипулятором, мелькали перед иллюминатором, устремляясь вверх и обгоняя аппарат при всплытии.

Мыс Толстый. Работая в этом районе, мы получили неожиданные результаты. Первые же погружения ГОА «Мир» не подтвердили сделанных ранее прогнозов о наличии там разгрузок газа и нефти. Местное подводное поднятие рассматривалось как грязевой вулкан. А так как здесь не удавалось поднять осадки геологическими трубками, которые ударялись о твердое дно и приходили пустыми, предполагалось, что на дне находятся такие же массивные газогидраты, как и на грязевом вулкане Санкт-Петербург.

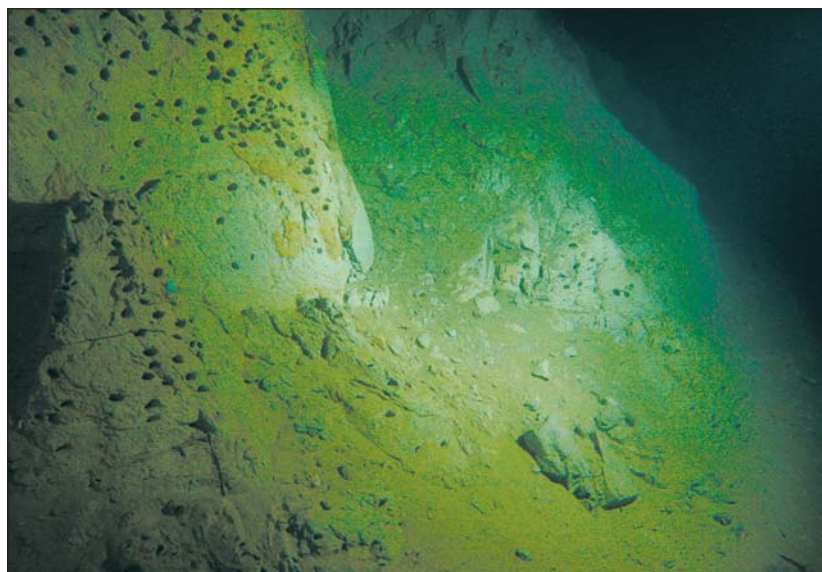
Визуальные наблюдения из «Миров» показали, что на дне отсутствуют мелкомасштабные морфологические признаки выноса глубинных флюидов, типичных для грязевых вулканов. Желтоватый цвет верхнего слоя осадка свидетельствовал о его окисленности. Под тонким слоем залегали древние породы. Содержание газа в воде и осадках и геотермический градиент оказались близкими к фоновому. Таким образом, осмотр, проведенные инструментальные измерения и анализ отобранных образцов позволили однозначно утверждать, что данное поднятие не грязевулканическое образование, а небольшая подводная банка. Подобные структуры весьма характерны для восточного борта Байкала.

Бухта Фролиха. Довольно обширные покровы бактериальных матов мы встретили и в северной части озера. На одном из маршрутов «Миров», на глубине

около 400 м, нам удалось выйти на большое гидротермальное поле, которое тянулось вверх по склону более чем на 2 км. Здесь впервые были проведены масштабные геотермические исследования. Внутри поля при измерениях получены высокие значения геотермического градиента — в среднем для данного полигона они достигали 2–4°C/м, что приблизительно в 100 раз выше средних величин для Байкала.

Мы установили связь термической активности с плотностью поселений бентосных организмов. Обширные белые пятна бактериальных матов маркировали максимальный тепловой поток. По изотопному анализу установлено, что бактерии существуют здесь и за счет хемосинтеза, и за счет метанотрофии. Характерная черта этого гидротермального поля — многочисленные и разнообразные скопления губок и полосы амфипод. В области максимальных значений теплового потока на границе вода—осадок зафиксирован и высокий поток метана из осадка в воду. Анализ многочисленных проб придонной воды, взятых с помощью специально изготовленных пробоотборников, показал высокое содержание метана в придонном слое.

Средний и западный Байкал. Наши исследования районов разгрузок нефти и газа, наличие твердых газогидратов и гидротермальных проявлений, характеризующихся эндемизмом фауны, подтверждают, что Байкал представляет собой водоем, близкий к океанической экосистеме. Об этом свидетельствует и геологическая структура озера, для которой характерны основные признаки океанических рифтовых зон. Байкальская котловина образовалась в результате изгибных деформаций земной коры, сопровождающихся разломами. Перемещения по ним отдельных блоков имело основное рельефообразующее значение. По западному



Перистые глины на восточном склоне озера.



Представители древнейшей байкальской фауны — голубые губки.

борт Байкальской котловины мы наблюдали ступенчатые террасы, а в районе Ольхонских Ворот — развитие разрывных нарушений сбросового типа, которые наиболее четко прослеживаются в подводной глубоководной части острова. Горизонтальные поверхности террас чередуются с обрывистыми стенками высотой до 160 м, образуя мощные ступени. На глубине около 1400 м дно выполаживается. В этой глубоководной части Байкальского рифта накапливается толща тонких илистых осадков.

Коренные горные породы сверху покрыты пленкой трансформированных (гипергенных) образований, а в скальных обнажениях они хрупкие, выветрелые. Местами сохранились кварцевые жилы и прожилки причудливых форм.

На участке дна среднего Байкала локально распространены глинистые образования с пористой текстурой. Они формируют на склонах «потоки» корок мощностью от 3 до 40 см.

Мы исследовали зону контакта западного борта Байкальского рифта с днищем средней котловины на глубинах 1450—1580 м. Здесь дно имеет довольно ровный рельеф и покрыто мощным слоем тонкодисперсных илистых осадков. Наши работы уточнили строение рифтообразующего (Обручевского) разлома на западном склоне центральной части Байкальской впадины. Комплексный анализ отобранных образцов позволит

получить новые данные о возрасте последних подвижек в земной коре и даст возможность достоверно оценить соотношение между их горизонтальной и вертикальной составляющими.

В районе о.Ольхон, Обручевского, Северобайкальского и других крупных северо-восточных разломов раскрытие рифта происходило при доминирующем влиянии сбросовых перемещений. На западном борту наблюдается довольно крутой склон, сложенный коренными породами с большим количеством слабоокатанного валунного и галечного материала. Гребни склона покрыты железистыми корками. На обследованных участках в диапазоне глубин 1313—1017 м крутизна склона изменяется от 40 до 15—20°. Дно микроканьонов покрыто пелитовым илом с небольшим количеством свалившегося с бортов обломочного материала. На малых глубинах (около 570 м) коренные породы пронизаны порами размером до 3 см.

Террасы склона населены глубоководными эндемичными беспозвоночными, принадлежащими к разным группам (несколько видам амфипод и губок), а также голомянками и коттоидными рыбами. С помощью манипулятора «Миров» собрано много животных, ранее отсутствовавших в коллекциях, полученных при глубоководных тралениях.

В этом районе впервые проводились визуальные глубоководные биологические наблюдения таксономического разно-

образия и вертикального распределения эндемичных видов животных, определялись диапазоны их обитания. На двух полуразрезах среднего Байкала в интервале глубин от 36—40 до 1450—1580 м наши биологи изучали распределение представителей древнейшей байкальской фауны — голубых губок. Были определены места их скопления, взято несколько видов для проведения морфологического и молекулярно-биологического анализов.

Впервые своими глазами можно было проследить за распределением абиссальных видов байкальских коттоидных рыб в присклоновой и склоновой зонах, а также донных глубоководных видов амфипод в придонном слое. Собрана обширная коллекция глубоководных планарий.

* * *

В данной статье изложены лишь отдельные результаты исследований оз.Байкал, основанные на визуальных наблюдениях из аппаратов «Мир», которые дают возможность представить масштабность проведенных работ, многоплановость постановки задач и их решения. Полученные данные подтверждают уникальность примененных методов изучения подводного мира, какую не могут обеспечить никакие другие исследования. Вспоминаются слова великого Ж.И.Кусто: «Ни один робот, ни один инструмент не заменит человека под водой». ■

Литература

1. Афанасьева Э., Бекман М. Путь познания Байкала. Новосибирск, 1987.
2. Мирлин Е.Г., Мониин А.С., Подражанский А.А., Сагалевиц А.М. Строение западного склона Байкала по наблюдениям из подводных аппаратов // Докл. АН СССР. 1978. Т.239. №5. С.1178—1181.
3. Sagalevich A. Quarter century of the MIR-1 and MIR-2 submersibles. MIR submersibles provided wide spectrum of scientific and technical operations // Sea Technology Magazine. 2012. №12. P.45—48.
4. Егоров А.В., Рожков А.Н., Черняев Е.С., Римский-Корсаков Н.А. Первый опыт транспорта глубоководных гидратов метана в негерметичном контейнере // Океанология. 2010. Т.51. №2. С.376—382.
5. Егоров А.В. Открытие и изучение газогидратов на дне озера Байкал в ходе экспедиции «Миры» на Байкале» 2008—2010 гг. // Сборник докладов Конференции «Байкал — всемирное сокровище». Париж, 2012. С.130—139.

Сердце Кулунды

И.В.Андреева,
кандидат
географических наук
Институт водных
и экологических проблем
СО РАН

М.М.Силантьева,
доктор биологических наук
Алтайский государственный
университет
Барнаул

Кулундинская равнина, Кулундинская степь, Кулунда — синонимы названия важнейшего сельскохозяйственного района на юге Западной Сибири. Бесконечное плоское пространство, исполосованное лентами защитных лесных полос, сегодня трудно представить колышущимся морем ковья. Из окна автомобиля разноцветные поля Кулунды предстают мелькающим калейдоскопом, с космического снимка — пестрым лоскутным одеялом, на котором лишь изредка проступают пятна с ломаными границами — сохранившиеся фрагменты былых ландшафтов.

Природное своеобразие региона предопределено удивительной геологической историей. Кулунда расположена в пределах одноименной тектонической впадины, входящей в состав Западно-Сибирской плиты. Начиная с протерозоя, весь палеозой и далее мезозой она была покрыта водами древнего моря, то наступающего, то отходящего. В кайнозойскую эру древний водоем монотонно регрессировал, заполняясь осадками, которые сносили реки с разрушающихся по его периферии гор. Сегодня от него сохранилась лишь россыпь мелких и крупных

© Андреева И.В., Силантьева М.М.,
2013



Здесь и далее фото А.В.Грибкова (за исключением указанных случаев)

солёных озёр. Самое большое из них — горько-солёное озеро Кулундинское с площадью зеркала 728 км². Наибольшая длина, ориентированная в направлении с северо-северо-запада на юго-юго-восток, составляет 38 км. В самой широкой части — между западным и восточным берегами — 27 км.

На карте или космическом снимке озеро напоминает сердце; усиливает это сходство пучок «вен и артерий» — устье р.Кулунды, впадающей в озеро с востока. Несомненно, Кулундинское озеро и его окрестности — рефугиум естественных ландшафтов и средоточие дикой жизни. В узкой полосе западного побережья, а также в устье и долине реки сохранились редкие для сельскохозяйственного региона фрагменты естественных степных ландшафтов, сосредоточилось уникальное биологическое разнообразие. Кулундинское «сердце» входит в число других территорий, которые поддерживают жизнеспособность всей биосферы Земли.

Исторические артефакты, свидетельствующие о заселении Кулундинской равнины, относятся ко 2-му тысячелетию до н.э. Первые упоминания о географических объектах этих территорий содержатся в документах конца XVI в. и жизнеописаниях хана Кучума. В те исторические эпохи влияние человека на степные ландшафты было минимальным. Заметно возросло оно в конце XVIII—начале XIX в. в связи с русским заселением и достигло максимума к 50—60-м годам XX в. — времени распашки целины.

Впервые описал целинную растительность Барабы (междуречья Оби и Иртыша) и Кулундинской степи профессор ботаники Томского университета С.И.Коржинский в 1890 г. Десятилетие спустя расширил эти знания, пополнив их результатами географических и ботанических исследований, известный ботаник и географ Г.И.Танфильев. В книге «Бараба и Кулундинская степь в пределах Алтайского округа» он привел список из

467 видов растений с указанием их местообитаний и местонахождений [1]. В XX в. ботанико-географические и почвоведческие исследования Кулунды продолжили А.Я.Гордягин, Н.И.Кузнецов, П.Н.Крылов, В.И.Баранов, А.В.Куминова, сотрудники экспедиционных отрядов Сибирского отделения Института агропочвоведения, Медико-биологического института Западно-Сибирского филиала АН. Многочисленные геоботанические, флористические и почвенные материалы по Кулундинской степи обобщила Е.В.Вандакурова (ученица Крылова). В её монографии «Растительность Кулундинской степи» представлены карты ботанико-географического районирования и растительности, где зафиксированы все сохранившиеся к тому времени степные участки [2].

Площади естественных лесов в Кулунде незначительны [3, 4]. Встречаются только редкие берёзовые колки и сосновые леса на песках в долинах рек, впадающих в озеро. Понижения в озерных котловинах заняты солонцами, солончаками, солончаковатыми и солонцеватыми лугами. По берегам пресных и слабосолёных озёр развиты болотные и болотно-луговые комплексы — займища.

Ковыльные (настоящие) степи сегодня почти полностью распашаны или значительно изменены из-за усиленного выпаса. В результате ковыльные степи превратились в разнотравно-типчаковые, полынно-типчаковые и разнотравно-полынно-типчаковые. Целинную растительность можно встретить лишь небольшими фрагментами на неудобьях. Флора таких фрагментов наиболее богата в окрестностях Кулундинского озера — в её составе насчитывается 409 видов высших сосудистых растений [3]. Сохранились они благодаря совокупности разных причин — недоступности территории, её засоленности и т.д. Немалая заслуга в том и ограниченного режима

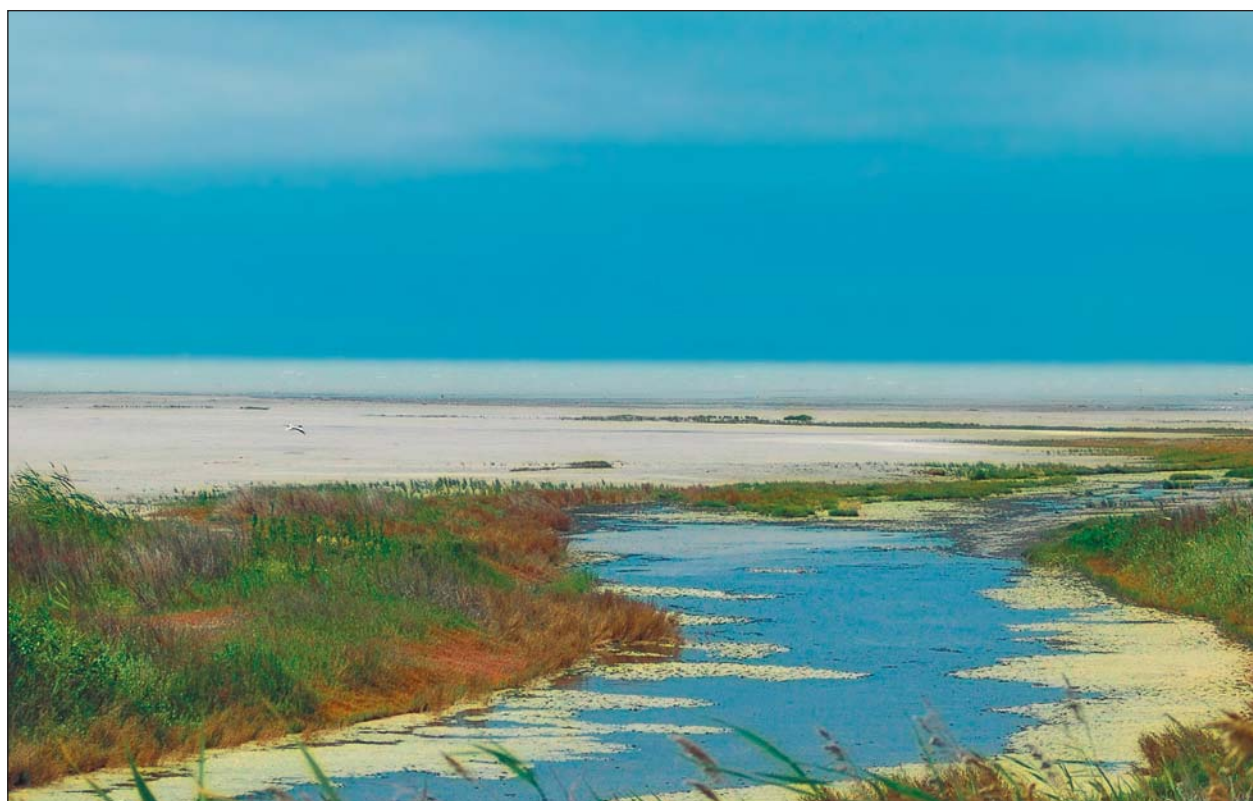


Озеро Кулундинское.

Изображение с сайта Корпорации GoogleTM



Танцующие кулундинские березы.



Устье реки Кулунды.



Ковыль перистый.

природопользования, который действует на побережье озера с 1975 г. Сохранением и восстановлением именно таких — некогда широко распространенных, а сейчас практически утраченных ландшафтов — занимается мировая природоохранная

общественность в последние десятилетия.

В условиях повсеместного уничтожения естественного растительного покрова особое внимание обращено на редкие и исчезающие виды. В заказниках еще можно встретить ковыль

двух видов — перистый (*Stipa pennata*) и Залесского (*S. zaleskii*), внесенных в Красную книгу РФ, а также десяток других «краснокнижных» видов: ирис сизоватый (*Iris glaucescens*), рябчик малый (*Fritillaria meleagroides*), тюльпан раскрытый (*Tulipa patens*), смолоносница изящная (*Ferula gracilis*), кермек полукустарный (*Limonium suffruticosum*), левзея серпуховидная (*Leuzea serratuloides*), кувшинка чисто-белая (*Nymphaea candida*). В Красную книгу Алтайского края внесены в качестве ресурсных видов лекарственные растения, в том числе солодка уральская (*Glycyrrhiza uralensis*), адонис весенний (*Adonis vernalis*), цмин песчаный (*Helichrysum arenarium*).

Среди немногочисленных крупных водоемов бессточной области юга Западной Сибири Кулундинское озеро выделяется разнообразием животного мира. Особое место занимают комплексы птиц, встречающиеся на мелководьях озера и в устьях впадающих в него рек. Илистые



Турухтан.

острова, мелководья, солончаки, пресные и соленые водоемы, тростниковые заросли, различные типы степей, луга, березовые колки служат местом гнездования и кормежки птицам более 200 видов. Здесь встречаются такие редкие птицы, как степной лунь (*Circus macrourus*), савка (*Oxyura leucocephala*), большой подорлик (*Aquila clanga*), степная пустельга (*Falco naumanni*), кобчик (*F.vespertinus*), балобан (*F.cherrug*), кречётка (*Vanellus gregaria*), степная тиркушка (*Glareola nordmanni*), азиатский бекасвидный веретенник (*Limnodromus semipalmatus*) и т.д.

Помимо упомянутых птиц на территории отмечено еще 30 «краснокнижных» видов: серощекая поганка, розовый пеликан, большая белая цапля, краснозобая казарка, каравайка, огарь, могильник, степной орел, беркут, орлан-долгохвост, орлан-белохвост, дербник, белая куропатка, красавка, хрустан, ходулочник, шилоклювка, кулик-сорока, мородунка, большой улит, турухтан, черноголовый хохотун, чеграва, вяхирь, филин, малый, белокрылый и черный жаворонки, чернолобый и серый сорокопуты, розовый скворец. По меньшей мере десяток из этих видов гнездится в окрестностях Кулундинского озера. В период миграций здесь останавливаются более 200 тыс. особей перелетных птиц [5]. Ни на одном другом водоеме Алтайского края не услышать такого многоголосья птичьих базаров!

Перечисленные виды птиц составляют лишь 25 % орнитофауны Кулундинского озера. Сравниться с ним по многочисленности и разнообразию птиц могут лишь акватория и побережье озера Малые Чаны (Новосибирская обл.), входящие в список Рамсарской конвенции*, которая

* Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение в качестве местообитаний водоплавающих птиц (Convention on wetlands of international importance especially as waterfowl habitat).



Рябчик малый и тюльпан раскрытый (вверху), адонис весенний (в центре) и ирис сизоватый.

Фото П.А.Косачева



Черноголовый хохотун.

была принята в Иране в 1971 г. и вступила в силу на территории России в 1977 г. Цель Рамсарской конвенции — предотвратить нарастающее антропогенное вмешательство и исчезновение водно-болотных угодий в настоящем и будущем. Такие комплексы — одни из ключевых экосистем планеты, влияющих на формирование климата и способствующие сохранению биологического разнообразия.

Значимость подобных территорий, в том числе и побережий Кулундинского озера, очевидна. Здесь обитают не только упомянутые птицы, но и, возможно, такие нуждающиеся в охране животные, как большой тушканчик (*Allactaga major*), перевязка (*Vormela peregusna*) и тритон обыкновенный (*Triturus vulgaris*), внесенные в Красную книгу России. Однако необходимость повышения статуса побережий



Ходулочник.

Кулундинского озера (до сих пор ограниченных статусом природного заказника) безуспешно обсуждается на протяжении последних двух десятков лет. Справедливости ради заметим, что в перечень, утвержденный постановлением Правительства РФ от 23 апреля 1994 г. №572-р, был включен заповедник «Благовещенский» (или «Кулундинский» — в некоторых документах) как перспективный для создания до 2010 г. Тогда он проектировался в качестве кластерной особо охраняемой природной территории, состоящей из четырех удаленных друг от друга участков с лесными и степными ландшафтами, а именно из ныне существующих комплексных заказников — «Благовещенский», «Суетский», «Волчихинский» и «Корниловский». Создание не состоялось. Ранее действующий документ отменен постановлением Правительства РФ от 23 мая 2001 г. № 725-р, в перечень которого включены предложения об организации лишь девяти заповедников и 12 национальных парков. В их число заповедник «Кулундинский» не вошел.

Как известно, создание особо охраняемой территории высшего ранга связано с изъятием земель и введением жестких режимных ограничений. Очевидно, что сопряжено это с финансовыми, экономическими и организационными трудностями. Учитывая их, сегодня целесообразно реорганизовать граничащие друг с другом озерно-степные заказники «Благовещенский» и «Суетский» в природный парк регионального уровня. Такой статус позволяет одновременно с работами по сохранению, мониторингу и восстановлению ландшафтов и уникальных природных объектов использовать территорию под безопасные виды природопользования, в том числе туризм. Для этого пространства, на которых планируется создать природный парк, должны обладать высокой экологичес-

кой и эстетической ценностью. Условия в «Благовещенском» и «Суетском» заказниках позволяют организовать регулируемый туризм и отдых, сохранять рекреационные ресурсы и одновременно поддерживать экологический баланс территории. Например, на реках, впадающих в Кулундинское озеро, возможна рыбалка удочкой и семейный пикниковый отдых. Эколого-познавательный туризм весьма перспективен в форме любительской орнитологии, включающей наблюдение и изучение птиц, их учет и т.д. «Birdwatching» (в переводе с англ. — наблюдение за птицами) — весьма популярное за рубежом самостоятельное научно-туристическое направление. На Кулундинском озере кроме массовых скоплений можно увидеть и экзотических птиц: кучерявого и розового пеликанов. Поиск местобитаний растений и животных «краснокнижных» видов — перспективное увлекательное направление квест-туризма (от англ. quest — поиски). Территория парка в этом может быть как самостоятельным объектом наблюдения, так и частью региональных тематических маршрутов (орнитотуров), проходящих по боровым и степным озерам края.

Научно-просветительским целям может служить и сам водоем (крупнейшее в Алтайском крае горько-соленое степное озеро), и покрытые солью участки его побережий. Интересны в качестве объектов наблюдений фрагменты коренных степей — реликты целинной растительности, а также соляноковая растительность, создающая череду цветовых аспектов в разные сезоны года.

Когда эта статья уже готовилась к печати, администрация Алтайского края возобновила обсуждение вопроса о повышении природоохранного статуса Кулундинского озера и его побережий. Первый этап работ — подготовка документов, подтверждающих соответствие терри-



Пеганка.

тории запрашиваемому статусу. На ближайшие месяцы намечены экспедиционные работы по оценке современного экологического состояния территории и определению оптимальных границ будущего природного парка. Необходимо подготовить эколого-экономическое обоснование его организации и согласовать с агентами природопользования. Помогут в этом деле и уже существующие матери-

алы по оптимизации природопользования и разработке мер охраны Кулундинской равнины и побережья Кулундинского озера. Эти материалы — обобщение исследований, которые проводились на этих территориях в разные годы и ведутся до сих пор, в том числе и в рамках международных проектов. В одном из них — «Сохранение водно-болотных угодий и их обитателей на юге Западной Сиби-



Большой веретенник.



Свистунки и турухтаны.

ри» — в 2001—2003 гг. участвовали российские и голландские ученые. В цели проекта входило комплексное изучение экологического состояния озер Чаны и Кулундинское. Были разработаны меры по рациональному использованию природных ресурсов побережий и охране наиболее ценных представителей животного мира (в первую очередь, редких водоплавающих и околоводных птиц). Российско-германский проект «Кулунда», действующий на территории в настоящее время, направлен на разработку мероприятий по улучшению ведения сельского хозяйства в степной зоне.

Организация природного парка «Кулундинский» — не дань моде. Это необходимое условие

для сохранения уникальных ландшафтов — мест обитания многочисленных видов животных и растений, среди которых немало редких или находящихся под угрозой исчезновения. К тому же, эта природоохранная инициатива выгодна со всех точек зрения. Очевидно, что образование природного парка отразится на повышении уровня жизни местного населения. Ясно, что создание полифункциональной особо охраняемой природной территории откроет возможности для дополнительного финансирования различных природоохранных и социально-экономических программ регионального, государственного и межгосударственного уровней. Появится возможность для развития новых отраслей эконо-

мики, рационализации и альтернативного использования природных ресурсов. Это в свою очередь повысит привлекательность территории для инвестиций и налоговую эффективность. Возникнут дополнительные рабочие места как в самом парке, так и в сопутствующих и поддерживающих отраслях. Немаловажный эффект от создания природного парка — осознание местным населением выгоды сохранения ландшафтов и экологического благополучия для поддержания туристической привлекательности территории.

Организация природного парка «Кулундинский» позволит решить и некоторые региональные проблемы. Прежде всего повысить эффективность охраны коренной степной растительности и интегрировать алтайские степи в государственную и межгосударственную сеть степных резерватов. Кроме того, можно будет поддержать и увеличить биологическую емкость ключевых орнитологических территорий, а также привлечь интерес к степным территориям и организовать туризм под названием «Алтай степной».

Еще не упущено время и не утрачена возможность восстановления нарушенных природных комплексов. По предварительным результатам обследования ландшафтного и биологического разнообразия окрестностей Кулундинского озера, регион располагает достаточными ресурсами, способными в будущем коренным образом изменить экологическую ситуацию в Кулундинской степи к лучшему. ■

Литература

1. Танфильев Г.И. Бараба и Кулундинская степь в пределах Алтайского округа // Труды геол. части кабинета. СПб., 1902. Т.5. Вып.2. С.59—308.
2. Вандакурова Е.В. Растительность Кулундинской степи. Новосибирск, 1950.
3. Хрусталева И.А. Флора Кулунды. Дис. ... кандидата биол. наук. Барнаул, 2000.
4. Дурникин Д.А. Флора и растительность озер Кулунды в пределах Алтайского края. Дис. ... кандидата биол. наук. Новосибирск, 2002.
5. Красная книга Алтайского края. Особо охраняемые природные территории. Барнаул, 2002.
6. Водно-болотные угодья России. Том 1. Водно-болотные угодья международного значения (под общ. ред. В.Г.Кривенко). М., 1998. №47.

Пейзажный камень

Ш.З.Гафуров,

кандидат геолого-минералогических наук

Е.Н.Дусманов

Казанский (Приволжский) федеральный университет

С давних времен минералы и горные породы привлекали внимание людей не только практической ценностью, но и красотой, вызывающей неподдельный интерес и восхищение. Особое эстетическое наслаждение доставляют так называемые пейзажные камни. Они входят в наше сознание как первозданное творение природы.

К горным породам и минералам, создающим необыкновенные пейзажные и сюжетные композиции, относятся яшма, серпентинит, мрамор, скарн, известняк, офикальцит, агат, оникс, родонит и др.

Некоторые казанские геологи обладают уникальными частными коллекциями пейзажного камня, которые неоднократно выставлялись в Геологическом музее им.А.А.Штуkenберга Казанского университета и в Государственном историко-архитектурном и художественном музее-заповеднике «Казанский кремль».

Несмотря на широту геологических и физико-химических условий образования минералов и горных пород, пейзажные камни встречаются довольно редко. Их следует рассматривать как уникальное создание природы. Они сравнимы с фантастическими пейзажами японских художников или яркими полотнами импрессионистов.

Самые выдающиеся мастера эпохи Возрождения черпали в каменных пейзажах творческое вдохновение. Они любили их «ретушировать», добавляя к рисунку детали, «по небрежности» упущенные природой [1].



«Рябина на склоне горы» (яшма учалинская, 80×130 мм).

Здесь и далее фото Ш.З.Гафурова



«Побережье Баренцева моря» (казахстанский моховой агат, 95×140 мм).

Пейзажные камни, оформленные в виде картин, становятся украшением любой коллекции. У каждой такой картины два автора: природа, создавшая этот образ, и мастер-камнерез, открывший красоту камня, выбрав его из десятков распилов.

В статье представлены фотографии каменных картин из коллекции одного из авторов (Ш.З.Гафурова), которая целенаправленно собиралась с 1970 г. Рамки сделаны из серпентинита, доломита, стеатита, долерита и ангидрита.

Яшма, безусловно, — самый яркий представитель пейзажного камня. Она вобрала в себя почти все цвета спектра: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, фиолетовый, а также черный и белый. Такой полной палитры у других горных пород и минералов нет. Точно и ярко написал о ней А.Е.Ферсман: «Я не знаю другого минерального вида, который был бы более разнообразен по своей окраске, чем яшма. Все тона, за исключением чисто синего, нам известны в яшме и переплетаются они иногда в сказочную картину» [2].

Наиболее богаты месторождения яшмы на Урале и Алтае. Яшмовый пояс Урала тянется с севера на юг более чем на 400 км, от окрестностей г.Миасса (Челябинская обл.) до г.Орска (Оренбургская обл.). Здесь выделяются Аргаяшский, Верхне-Миасский, Северо-Ирендыкский, Учалинский, Магнитогорский, Сибайский и Орский яшмовые районы [3]. Наиболее



«Ночь в Каракумах» (яшма орская, 77×110 мм).

разнообразны яшмы Орского р-на, где насчитывается свыше 200 ее разновидностей.

История орских яшм из месторождения Гора Полковник начинается с 1735 г., со времен закладки русской крепости на р.Орь. Отличительным свойством этих образцов считается редкое сочетание в них красного и черного.

Яшма — бесконечная цветовая игра. Краски переливаются и перетекают друг в друга, резко контрастируют, кружатся в праздничном хороводе, таинственно затихают [4]. Благодаря причудливой многоцветной окраске рождаются неповторимые пейзажи, вызывающие у каждого человека свои ассоциации. Яшма с месторождения Гора Полковник создает самые неожиданные сюжеты: мы видим то портрет мужчины — сердитый взгляд, острый нос, борода, собольих воротник, то парящую над волнами и скалами чайку.

Агат — самая красивая разновидность халцедона. Существуют разные версии происхождения названия камня: одни считают, что оно произошло от греческого слова «агатес» — счастливый; другие — от древнего названия р.Дирилло в Сицилии — Ахатес.

Месторождения агатов известны повсеместно (на Тимане, на Кавказе, в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, на Чукотке, в Приморье и т.д.). Генезис их связан с вулканогенными комплексами пород — лавами и туфами. Агаты очень разнообразны по окраске. Существенную роль в их облике играет неоднородная просвечиваемость как отдельных цветовых полос, так и целых образцов. Моховые разновидности содержат черные, иногда красные дендритовые включения. В отличие от яшм, в пейзажных агатах преобладает спокойная, мягкая, утонченная и объемная «живопись», с передними и задними планами. Моховые агаты Казахстана создают изумительные пейзажи подводного мира и удивитель-



«Лесная чаща» (южноуральский серпентинит, 85x135 мм).

ные сюжеты с деревьями и кустарниками.

Родонит — силикат марганца — по праву считается одним из самых красивых минералов. Его название происходит от греческого слова «родон» — роза. Русский синоним названия — орлец. На Востоке родонит называют камнем утренней зари.

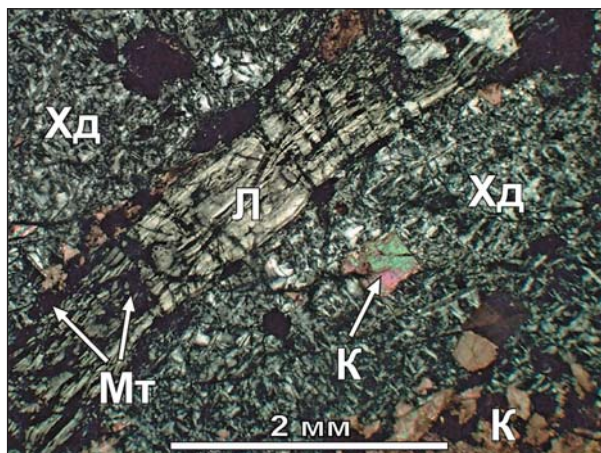
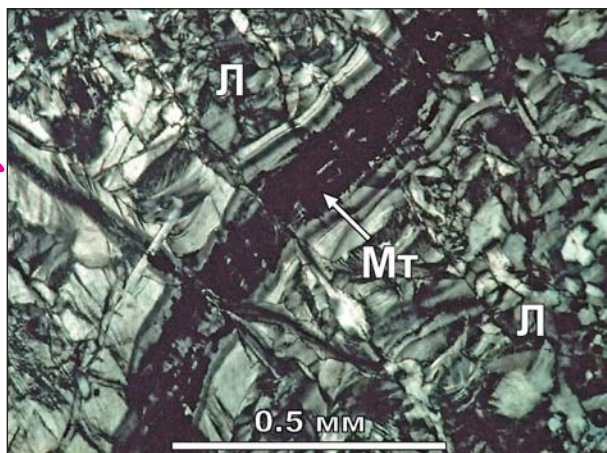
Минерал встречается в виде плотных, тонкозернистых масс. Кристаллы редки. Цвет розовый, ярко-розовый, малиновый до красного, красновато-бурый. Окраска стойкая. Цветовую гам-

му родонита определяет сочетание различных примесных, преимущественно марганцевых, минералов: тейфрита, спессартина, родохрозита, сонолита и др. [5].

Уральский родонит связан с марганцевыми месторождениями (Кургановским, Баженовским, Малоседельниковским и др.) в вулканогенно-осадочных породах. Знаменитое Малоседельниковское месторождение было открыто в конце XVIII в., и начиная с XIX в. название небольшой уральской



«Лесотундра» (южноуральский офикальцит, 90x130 мм).



Микрофотографии серпентинита из карьера близ железнодорожной станции Бишкиль (Челябинская обл., Южный Урал). Слева — прожилок магнетита (Мт) в лизардите (Л); справа — прожилок лизардита с магнетитом в карбонатизированном (К) хризотиловом (Хд) серпентините. Прозрачные шлифы, поляризованный свет.

деревенки стало известно минералам всего мира [5]. Изделия из уральского родонита прославили нашу страну на весь мир. На форуме Международной ассоциации ювелиров этот минерал был признан символом России. Из него изготовлены саркофаг императрицы Марии Александровны (супруги императора Александра II) весом около 7 т и торшеры высотой 280 см, украшающие парадную лестницу Эрмитажа. Там же находится и знаменитая овальная ваза диаметром 185 см и высотой 85 см. И конечно, нельзя не упомянуть станцию «Маяковская» Московского метрополитена, колонны которой облицованы родонитом.

Тонкие черные дендриты и прожилки гидроксидов и оксидов марганца образуют на розовом фоне неповторимые пейзажи. В них можно различить деревья на скалах, вечерний закат в горах и др.

Серпентинит — плотная горная порода, в состав которой

входят минералы из группы слоистого силиката серпентина (лизардит, хризотил и др.), а также примеси карбонатов. Она образовалась в результате серпентинизации ультраосновных магматических пород группы перидотита.

В России серпентиниты широко распространены на Урале, на Кавказе, в Саянах. Уральские образцы отличаются разнообразием цветовых оттенков. Богатство градаций зеленого цвета зависит от присутствия минеральных примесей. Серпентиниты Урала образуют интересные сюжетные композиции в виде цветочных полей и лесных чащ. На рисунке представлена картина из серпентинита, добытого в карьере близ железнодорожной станции Бишкиль Челябинской обл.

По результатам минераграфических и петрографических исследований этих образцов установлено, что темные полосы, создающие удивительные пейзажи на фисташково-зеленом

фоне, обусловлены присутствием магнетита (5–30%), связанного с более поздними прожилками лизардита и хризотила.

Офикальцит — метаморфическая горная порода, состоящая из кальцита и хризотила, обычно содержащая гнезда, пятна и прожилки серпентинита. Возникает в результате преобразования доломитовых пород. Цвет зеленоватый, серый, желтый, голубой. На Южном Урале находятся крупные месторождения офикальцита — Медведевское, Черешковское, Саткинское, Бакальское. Образцы очень красивы и нередко встречаются интересные картины.

Выставки пейзажного камня в Казани посетили десятки тысяч людей: школьники, студенты, жители республики и гости столицы. Многие, впервые увидев эти чудеса природы, были потрясены их красотой и притягательностью. Надеемся, что наши каменные картины вызовут интерес к старейшим наукам о Земле — геологии и минералогии. ■

Литература

1. Эд А., Виар М. Минералы мира. М., 2001.
2. Ферсман А.Е. Рассказы о самоцветах. Л., 1954.
3. Колисниченко С.В. Яшмовый пояс Южного Урала. Челябинск, 2007.
4. Аринштейн М.Б., Мельников Е.П., Шакинко И.М. Цветные камни Урала. Свердловск, 1986.
5. Авдонин В.Н. О камнях... Екатеринбург, 2011.

Гигантские карстовые провалы в Нижегородской области

Р.Б.Давыдько, С.А.Махнатов, М.М.Уткин, Р.В.Зотов
 ОАО «Противокарстовая и береговая защита»
 г. Дзержинск

Для Нижегородской области, особенно ее южной части, очень характерны разнообразие карстовые формы рельефа: воронки, провалы, овраги, утесы. Встречаются и реки, исчезающие в понорах, и исчезающие и вновь появляющиеся озера, и таинственные пещеры. Закарстованные участки выделяются на окружающем фоне

© Давыдько Р.Б., Махнатов С.А.,
 Уткин М.М., Зотов Р.В., 2013

красотой и живописными пейзажами.

Один из первых исследователей карста в этих местах, академик П.С.Паллас, посетив в августе 1768 г. долину речки Вад, описывает провалы, «происшедшие от подземной воды», которая «вымывает» горную породу. Он рассказывает о случае в дер.Каваре: «Однажды... целый крестьянский дом со всею семьею провалился, и можно еще видеть

оную пропасть». А «недалеко от другой деревни Лопатиной...» — продолжает Паллас — «недавно сделался такой провал, в котором видно было течение подземной воды... Известно, что в здешнем Мордовском озере находится множество рыбы, которая, увидев закинутую сеть, почти вся уходит в омут, глубину которого мы не смогли замерить» [1].

С 1953 г. исследования карста в Нижегородской обл. проводит



Карстовый провал в деревне Белозерье. 2012 г.

Фото авторов



Гигантский провал в пос.Мухтолово. 2011 г.

Фото М.В.Леоненко

известная у нас в стране и за рубежом Дзержинская карстовая станция (впоследствии Дзержинская карстовая лаборатория, а ныне ОАО «Противокарстовая и береговая защита»). На сравнительно небольших участках в этом районе выявлено более 25 гигантских провалов диаметром от 40 до 100 м. Они образуются на территории области с периодичностью в среднем один раз в четыре года.

Интересно геологическое строение данной территории. Древние растворимые породы (известняки казанского и гипсы сакмарского ярусов пермской системы) залегают на небольшой глубине, а местами в виде останцов выходят на поверхность.

В толще этих горных пород много пустот и трещин. По ним свободно циркулируют подземные воды, которые при благоприятных условиях вырабатыва-

ют обширные полости. Они-то, по-видимому, и становятся причиной образования провалов.

Огромный провал диаметром 60 м и глубиной 25 м возник в дер. Белозерье Арзамасского р-на, в междуречье рек Тешы и Сережи, в ночь на 14 августа 2012 г. и сопровождался локальным землетрясением, которое разбудило жителей ближайшего дома. По рассказам очевидцев, дом в течение сравнительно короткого времени содрогался, кровати вибрировали, несколько раз слышался сильный грохот. Покинув жилище, в непосредственной близости от него люди увидели «громкую яму с вершушками ушедших на дно двух столбов линии электропередачи, а рядом лежали оборванные провода».

По воспоминаниям местных жителей, еще больший провал (диаметром 100 м и глубиной 25 м) произошел практически

на том же месте 80 лет назад. Тогда провалились два дома. Горные выработки, вскрывшие здесь гипсовые породы, обнаружили в них значительные пустоты.

По данным А.Н.Розанова, еще раньше, в 1927 г., в этой же деревне образовалась «свежепровальная яма с обрывистыми стенками диаметром 75 м и глубиной свыше 35 м» [2]. Всего же в дер.Белозерье, по далеко не полным данным, за 1953—2012 гг. зарегистрировано около 10 крупных карстовых провалов. А в 10 км западнее дер.Белозерье, в пос.Мухтолово в 2011 г. возник провал диаметром 130×90м.

Надо сказать, что таких огромных провалов в районах открытого карста, к которым относится и Нижегородской область, в таком количестве и с такой периодичностью, больше нигде в нашей стране не обнаружено. ■

Литература

1. Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российской империи. Ч.1. СПб., 1809. С.86—90.
2. Розанов А.Н. Недра Горьковского края. Серия I. Геологическое строение, подземные воды и полезные ископаемые. Горький, 1933. С.64—65.

Девять лет из жизни Огюстена Френеля

Р.Н.Щербаков,
доктор педагогических наук
Таллин (Эстония)

Имя физика Френеля широким массам почти неизвестно. Кому-то из нас оно приходит на ум, когда вспоминаются школьные опыты с его бипризмой. Специалисты по оптике, оперирующие терминами и формулами Френеля, о самом ученом мало что помнят. И лишь мизерная доля историков науки знает и почитает этого ученого.

Как раз историки физики и напоминают нам, что великий французский физик начала XIX в. Огюстен Жан Френель прожил только 39 лет. Из его недолгой жизни на занятия наукой пришлось всего девять лет, за которые он, тем не менее, успел стать одним из основателей волновой оптики и приобрести в итоге титул гения науки.

Сегодня волновые свойства света представляются для нас вполне обыденными, а знания о них — одними из составных элементов физической картины мира и общей культуры в целом. Этим мы обязаны усилиям ученых самых разных стран, исследовавших в свое время законы излучения, и среди них — Огюстену Френелю [1].

Вместе с тем его жизнь поучительна для нас тем, что в ней рядом с занятиями научными исследованиями соседствовала государственная служба, которой он был вынужден заниматься большую часть своего времени. Не каждому из нас удается преодолеть это противоречие, оставляя за бортом идеалы, к ко-



Огюстен Жан Френель, действительный член Французской академии наук.

им мы стремимся. Френель из этой ситуации вышел с блестящими результатами.

На заре туманной юности

Огюстен Жан родился 10 мая 1788 г. в семье архитектора в небольшом городке Брولي в департаменте Эр Верхней Нормандии. Гонимый по жизни Великой французской революцией, отец вынужден был вместе с женой и двумя сыновьями обосноваться в деревне Матьё. Как раз там прошли первые детские годы будущего физика.

В отличие от своего более способного к учебе старшего брата Леонора, Огюстен рас-

крылся далеко не сразу. Он отличался плохой памятью, отсутствием способностей к языкам и слабым здоровьем, из-за чего отстал в учебе. Однако, начав в 1801 г. учиться в школе в Каэне, он проявил себя в черчении. Развилась и способность запоминать — прежде всего то, что выглядело для него вполне ясно и убедительно.

В 1804 г. 16-летний Френель поступает в знаменитую во Франции Политехническую школу, куда годом раньше поступил Леонор и где давалась добротная научная подготовка для обучения в практических школах. Главное место отводилось в ней геометрии, математическому анализу, механике и физике. Их преподавание крупными учеными Г.Монжем, А.М.Лежандром, С.Д.Пуассоном и др. позволило воспитать будущих исследователей — Ж.Б.Био, Э.Л.Малюса, Д.Ф.Араго и О.Ж.Френеля.

В ходе учебы Френель ощутил силу и красоту методов геометрии, проявил способности к ней, познал возможности применения анализа в точных науках. Он познакомился с основами механики и элементами оптики, а также получил необходимое для научных и технических занятий представление о проведении опытных исследований и, что не менее важно, приобрел для этого простейшие практические навыки.

Там же впервые в своей молодой жизни он удостоился публичного поздравления Лежандра за отличное решение геомет-



Политехническая школа, основанная в 1794 г. Г.Монжем и Л.Н.Карно, выдающимися математиками и инженерами.

рической задачи, которое «открыло Френелю тайну его достоинств и уничтожило в нем недоверие» к себе [2. С.67]. Затем три года он провел в Школе путей сообщения, а в 1809 г., став инженером, был направлен в Вандею, где занимался восстановлением разрушенных революцией дорог.

С этого момента жизнь Френеля распадается на две линии. Одна из них, заданная службой в Департаменте дорог и мостов, требовала от него в основном решения технических задач. Позднее он писал Араго: «Такой образ жизни... вполне подошел бы мне, если бы я не уставал так физически и если бы необходимость надзирать, бранить и быть злым не приносила морального беспокойства» [3. С.183].

Вторая линия жизни была связана с его научной деятельностью в области физической оптики, принесшей ему мировую славу. Хотя занятия наукой начнутся много позже, Френель довольно рано ощутил в них духовную потребность и, очевидно, средство отвлечься от забот и трудностей повседневной жизни. Обе линии, годами сосуществовая, не всегда могли ужить-

ся вместе и в принципе исключали друг друга.

Важный фактор в его жизни — слабое, со временем ухудшавшееся здоровье, определявшее его психологическое состояние и приводившее к серьезным приступам апатии и глубокой депрессии. Обе линии деятельности Френеля испытывали на себе влияние его нездоровья, которое ему приходилось мужественно преодолевать как при несении государственной службы, так и в ходе поисков научной истины.

Жизнь Френеля пришлась на эпоху побед и поражений Наполеона I, Реставрации, Ста дней Наполеона и, наконец, вторичной Реставрации. Исполняя с присущей ему порядочностью обязанности инженера по ремонту и прокладке дорог, Френель в период Ста дней за участие в военных действиях против императора был отстранен от работы. Это оказалось кстати, ибо позволило наконец заняться наукой.

В одно из своих посещений Парижа Френель знакомится с Араго — известным ученым, знавшим все и вся в академической среде. С этого времени тот

становится как бы его ангелом-хранителем с благородным сердцем и добрейшей душой. Именно Араго будет поддерживать волновые идеи Френеля, проводить совместные с ним исследования, защищать его приоритеты в науке и заботиться о нем всю жизнь.

Находясь под надзором полиции, Френель вначале занимается гидравликой и технико-химическими вопросами. Однако его работа 1814 г. посвящается уже исправлению неточного объяснения годичной аберрации неподвижных звезд. Оказалось, что ранее подобные исследования уже провели Д.Ж.Брадлей и А.К.Клеро. Это станет уроком для Френеля: не публиковать ни одной работы, «не уверившись в ее полной оригинальности» [2].

Поскольку более семи лет Френель занимался службой и потому не имел возможности общаться с коллегами по науке, он не мог сразу же вплотную и всерьез заняться оптикой. К тому же он прекрасно осознавал, что его знания несовершенны, новые книги по физике еще не появились, а между тем до него уже стали доходить сведения об обнаружении удивительных фактов о световых явлениях.

В письме к Леонору в мае 1814 г. Френель просит прислать ему «курс физики Гаюи и статьи, по которым можно было бы ознакомиться с открытиями французских физиков по *поляризации света*. Несколько месяцев тому назад я читал в “Монитёре”, что Био прочитал в институте интересный мемуар о поляризации света. Я напрасно ломаю себе голову: не могу угадать, о чем идет речь» [3. С.183].

Немалый интерес к событиям вокруг оптических явлений стал в судьбе Френеля тем поворотным моментом, который положил начало его научной деятельности. Возник тот в общем и целом счастливый период его жизни, когда, посвятив себя новым свойствам света, он вскоре проявит себя в этой области физики выдающимся ученым.

В пользу волнового принципа

Творчество Френеля совпало со временем расцвета французской науки. Ее основы, заложенные П.С.Лапласом, воплотились в развитии математики, эксперимента и ремесел. Это была та научно-мировоззренческая база, на которой реализовались способности, труд и терпение Френеля.

Формированию Френеля-физика способствовало и то, что вопреки нелегким жизненным условиям своей эпохи уже с ранних лет в его «слабом теле заключалась сильная душа и твердая воля, залог верных успехов» [2. С.67], усиленные образованием и поддержанные затем его товарищами — коллегами по науке Д.Ф.Араго, А.М.Ампером и др.

В силу своей природы и ограниченности средств для постановки опытов, присущей науке того времени, Френель уже с самого начала руководствовался принципами разумной целесообразности и простоты. В их основе лежала его удивительная по своей пронизательности интуиция, диктовавшая меру на каждом этапе научного исследования.

Френель еще захватил веру большинства ученых в корпускулярные представления и простое положение волновых законов в толковании колец Ньютона, дифракции света, поляризационных эффектов и построенный для двупреломляющих кристаллов. Попытки объяснить их побудили исследователей, а затем и Френеля вплотную заняться природой света. В том же 1814 г. он писал: «Я испытываю большой соблазн... верить в колебание особой жидкости для передачи света и тепла» [1. С.24].

С этого момента и начинается отсчет научных исследований Френеля. Загадки интерференции и дифракции света, поляризации и двойного лучепреломления в кристаллах, возможная взаимосвязь физической оптики с геометрической, движение света в эфире и их взаимодействие

покорили его воображение, мысли и поступки, подчинив их достижению одной цели — созданию волновой оптики.

Интерес к работам Малюса по поляризации света побуждает Френеля обновить свои знания по физике в целом и затем перейти к световым явлениям. Пребывая в Матьё, он вначале посвящает себя опытному изучению дифракции света. Но для постановки нужных опытов он не имел ни микрометра для измерения ширины полос, ни гелиостата для придания лучам света постоянного направления.

Взяв нитки и кусочек картона, Френель сделал микрометр, а применив линзу с коротким фокусным расстоянием, устранил неудобства, вызванные движением Солнца. Слесарь же изготовил подставки для самодельного прибора. Спустя 8 мес. Френель получает те результаты, что позволили ему установить ряд важных законов. В 1816 г. ученый уже применяет бизеркала, а в 1819 г. — бипризмы, ставшие важными приборами при демонстрации интерференционных явлений.

Впрочем, из-за отсутствия оборудования и лаборатории страдал не один Френель. И потому его эксперименты были, главным образом, качественными, к тому же на первом этапе проверки теории считалось вполне достаточным общего совпадения ее предсказаний с данными измерений. Позднее, уже в Париже, ученый проведет более точную, количественную проверку своих выводов. Об этом можно судить хотя бы по дополнениям к его «Мемуару о дифракции света» [4].

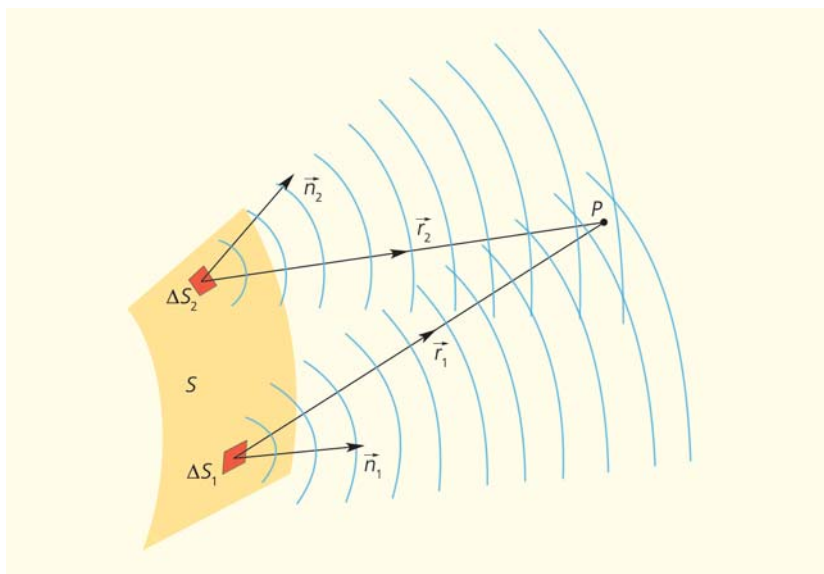
Переоткрыв после Т.Юнга принцип интерференции и исследовав дифракцию от края экрана и круглого отверстия, 27-летний Френель в 1815 г. создает теорию дифракции. Об этом он напишет Араго: «Световые лучи могут действовать друг на друга, ослабляться и даже почти совершенно погашаться, когда их колебания ме-

шают друг другу; и, наоборот, добавляться и взаимно усиливаться, когда они колеблются согласно. На этом принципе я основываю мое объяснение дифракции» [1. С.27].

На основании своих опытов и проведенных расчетов Френель в очередной раз подчеркнет: «Нельзя уже более сомневаться в том, что свет действительно распространяется путем волновых колебаний тончайшей жидкости, разлитой в пространстве; и тогда следует отбросить эмиссионную гипотезу, какие бы преимущества она ни представляла, ибо нельзя надеяться найти истину в какой-либо другой системе, кроме системы, данной самой природой» [1. С.116].

Положив в основу своей теории дифракции известный принцип Гюйгенса, дополнив его фундаментальной идеей об интерференции элементарных волн (введя представление о когерентности этих волн и их интерференции), Френель получил таким образом в 1816 г. уже дополненный и уточненный принцип Гюйгенса (позднее названный принципом Гюйгенса—Френеля). В «Мемуаре о дифракции света» ученый сформулирует этот принцип следующим образом: «Колебания световой волны в каждой из ее точек могут рассматриваться как сумма элементарных движений, которые были бы посланы в тот же момент времени всеми действующими изолированно частями этой волны, рассматриваемой в каком-либо из своих предыдущих положений» [1. С.185]. На основе развитого принципа ученый объяснил известные законы геометрической оптики, в том числе и прямолинейный характер распространения света.

Объединив принципы Гюйгенса и интерференции, Френель само вычисление амплитуды результирующей волны свел к интегралам (*интегралам Френеля*). Определяя их через интегрирование по частям и с помощью рядов и используя при этом геометрические построения



Принцип Гюйгенса—Френеля, который позволяет рассчитать распространение волнового фронта в пространстве.

ния (*зоны Френеля*), он дал математическое описание дифракции и упомянутого прямолинейного распространения света (и не только). В конечном счете это привело ученого к триумфу волновой концепции [4].

Итоги исследований дифракции света Френель изложил в двух своих мемуарах, которые с интервалом в несколько недель направил в Академию наук. В том же 1816 г. он представил дополнение к ним. В нем дифракция рассмотрена была уже как эффект интерференции колебаний, которые испускаются различными точками волны, ограниченной непрозрачными экранами, и показал, что этот эффект порождает те полосы света и тени, что наблюдаются в опытах. Немалую поддержку в этом ему оказали братья Леонор и Фюльжанс (он активно участвовал в улучшении «Мемуара») и дядя Лоран Мериме*.

* Фюльжанс Френель (1795—1855) — младший брат Огюстена, впоследствии известный востоковед, член Азиатского общества и член-корреспондент Академии надписей и изящной словесности. Дядя Лоран Мериме — брат матери, химик и живописец, отец будущего поэта и писателя Проспера Мериме.

Здесь Френель дает описание опытов, согласно которым интерференцию могут проявлять отраженные и преломленные лучи в самых разных условиях. После повторения своих опытов в улучшенных парижских условиях и анализа работ Д.Ф.Араго и Л.Пуансо Френель объединил оба мемуара в одно целое под названием «Мемуар о дифракции света», основная часть которого была опубликована в 1819 г. в «Annales de chimie et de physique».

В нем ученый, считая нужным уважительно отнестись к работам Ф.М.Гримальди и Х.Гюйгенса, Т.Юнга и Ж.Б.Био, Д.Ф.Араго и др., применяет в своих целях законы механики и акустики. Он отмечает: «Согласно волновой теории бесконечное разнообразие лучей различных цветов, которые образуют белый свет, истекает просто от различия в длинах световых волн — аналогично тому, как многообразие музыкальных тонов обусловлено разницей в длинах звуковых волн» [1. С.143].

Между тем слабое здоровье уже не позволяет Френелю с должным оптимизмом смотреть в будущее. Так, например, отказываясь от репетиторства

в Политехнической школе, он в 1816 г. писал Леонору: «Я довольно охотно занимаюсь исследованиями, но мне скучно обучать. <...> К тому же здоровье... мое вряд ли выдержало бы подобную работу. Поэтому я решил скромно остаться инженером мостов и дорог и даже бросить физику, если обстоятельства этого потребуют» [1. С.31, 32].

Дифракция, интерференция, поляризация

К счастью, Френель не оставит науку и вскоре вместе с Араго обнаружит, что лучи, поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях, не интерферируют. В 1818 г. независимо от Юнга он впервые объяснит поляризационные явления, приняв за основу гипотезу о попережности световых волн, и установит законы поляризации света при его частичном и полном отражении и преломлении. Так зарождались известные *формулы Френеля*.

Полученные им в 1823 г., они определяют отношение амплитуды, фазы и состояния поляризации отраженной и преломленной световых волн, возникающих при прохождении света через границу раздела двух прозрачных диэлектриков, к соответствующим характеристикам падающей волны. Условие применимости формул Френеля — это независимость показателя преломления среды от амплитуды вектора электрической напряженности световой волны.

Учитывая исследования Френеля, члены Академии Лаплас, Био и Пуассон, убежденные сторонники теории истечения, предложат в 1819 г. провести конкурс на решение проблемы дифракции. По настоянию Араго и Ампера, прежде чем подать заявку, Френель еще раз, но уже в более ясной, непротиворечивой форме сформулирует представления о природе дифракции, тщательно осмыслит их,

проведа для этого целый ряд новых опытов и развил математические методы расчета.

В письме к Леонору он писал: «Я полагаю, что мне удалось разрешить все теоретические трудности дифракции. Иначе я не знаю, хватило ли бы у меня духу участвовать в конкурсе, ибо крайне скучно мучиться над такими тонкими наблюдениями и искать законы таких сложных явлений, если не руководиться теорией» [1. С.36]. Френель представил «Мемуар о дифракции света» на конкурс, который после опытов, подтвердивших выводы его теории, был премирован в 1819 г.

«Мемуар» (в котором Френель, как пишет он сам, «...поставил себе целью собрать основные возражения против системы Ньютона» [1. С.111]) содержит анализ противоречий между двумя теориями света, поставленные им опыты, гипотезы, обобщения и выводы, таблицы данных и математический аппарат. Из «Мемуара о дифракции света» видно, что на пути к своему открытию Френель, опираясь на работы предшественников, в чем-то повторял и развивал сделанное ими. Отделяя свои достижения от повторенного, он, строго следуя правилам научной этики, отдавал должное его авторам.

Противники волновой теории еще сохраняли свои позиции. Но соответствие опытов и математических расчетов Френеля принятым в сообществе ученых стандартам, начавшаяся переоценка лапласовских норм научного познания, а также исследования, публикации и образование привели к тому, что волновая теория стала обращаться в свою веру как ученых, так и студентов. И потому порожденная этой теорией революция в оптике со временем оказалась неизбежной [5].

После выводов по интерференции поляризованных лучей, сделанных Юнгом в 1817 г., и собственных опытов Френель в 1821 г. выдвигает довольно

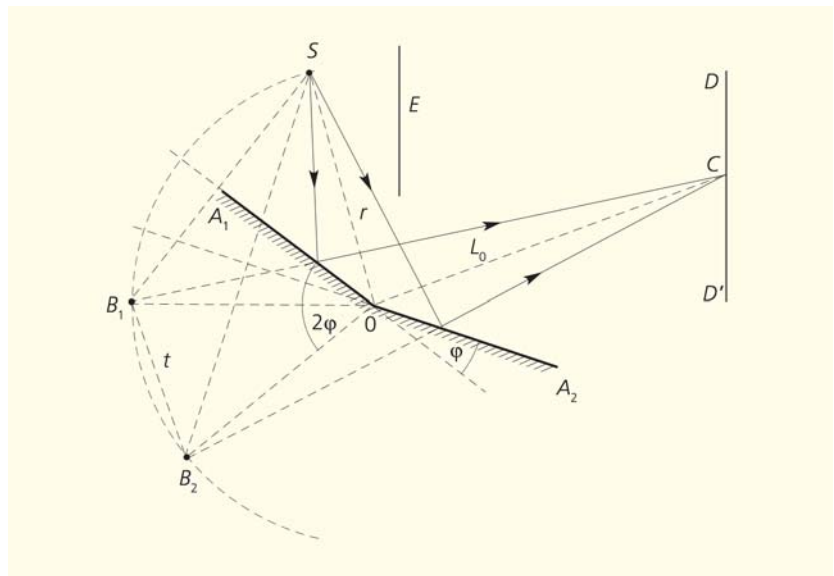


Схема опыта Френеля. В качестве двух когерентных источников света Френель предложил воспользоваться двумя изображениями одного и того же действительного источника света в двух плоских зеркалах, расположенных под небольшим углом друг к другу.

смелое предположение о поперечности световых волн. Оно, по его словам, «настолько противоречило принятым представлениям о вибрациях упругих жидкостей», что он «долго колебался, прежде чем его полностью признать». Это признание стало окончательным после того, как Френель «уверился, что оно не противоречит принципам механики» [1. С.397].

Используя идею поперечности световых волн, ученый не просто объясняет явление поляризации, но, применив к поляризованному свету принцип интерференции, анализирует и проводит расчеты цветов кристаллических пластинок. Тогда же он вводит понятие круговой и эллиптической поляризации и предлагает весьма искусные методы исследований поляризованного света, например, известный сегодня всем оптикам и применяемый на практике параллелепипед Френеля.

Итак, если Гюйгенс считал волны света продольными, а потому эфир, в котором они движутся, можно было представлять себе в виде разреженного газа, то Френель после своих

опытов по исследованию поляризации света приходит к убедительному выводу о поперечном характере световых волн. Кроме того, он делает заключение, что эфир следует рассматривать как воистину твердое тело, ибо газообразный эфир не был бы в состоянии передавать поперечные волны.

Л.Эйлер первым подошел к анализу световых колебаний с позиций математики, выведя уравнение их движения. Юнг и особенно Френель представили убедительные аргументы в пользу волновой теории, но ни тот ни другой не могли сказать, волной чего был свет. Его природа все еще оставалась неясной, и основную надежду ученые продолжали возлагать на математику. Электромагнитная теория света появится лишь через полвека.

Развивая волновую теорию

Победу волновой теории обеспечила научная смелость ее авторов, на что указывал в свое время Э.Мах: «Если бы Юнг и Френель устранили допущение

поперечности волн вследствие трудности их **объяснения**, наука потерпела бы не менее тяжкий урон, чем в том случае, если бы *Ньютон* по аналогичным соображениям замолчал свой закон тяготения. Мы не должны пугаться непривычных воззрений, раз они покоятся на прочных основах» [6. С.251].

Френель положил также начало и оптике движущихся тел. В 1818 г. в письме к Араго о влиянии движения Земли на некоторые оптические явления Френель выдвигает гипотезу о неподвижности эфира в системе неподвижных звезд и частичном увлечении его движущейся планетой — одну из самых плодотворных идей в оптике и электродинамике движущихся сред — и выводит формулу, по которой можно рассчитать коэффициент увлечения света движущимися телами.

Численное значение коэффициента ($\beta = \omega/c$, где ω — скорость среды и c — скорость света в вакууме) было подтверждено уже после смерти Френеля прецизионными опытами А.И.Л.Физо и А.А.Майкельсона. После этого коэффициент лег в основу электродинамики движущихся сред, созданной Х.А.Лоренцом в 1904 г. Физическое объяснение коэффициента получил как следствие формулы сложения скоростей уже в 1905 г. — в специальной теории относительности А.Эйнштейна.

Удивительно, хотя это и характерно для всего творчества Френеля, что он предвидел значимость в будущем своей работы, и в частности выведенного им коэффициента увлечения. По известной оценке Л.И.Мандельштама, «взгляды Френеля далеки от современных, но просто поразительно, как по-своему он сумел предугадать дальнейшее развитие вопроса, а именно то его освещение, которое он получил потом в электронной теории» [7. С.93].

На основе своих опытов и опытов Био и Араго, а также принципа поперечности свето-

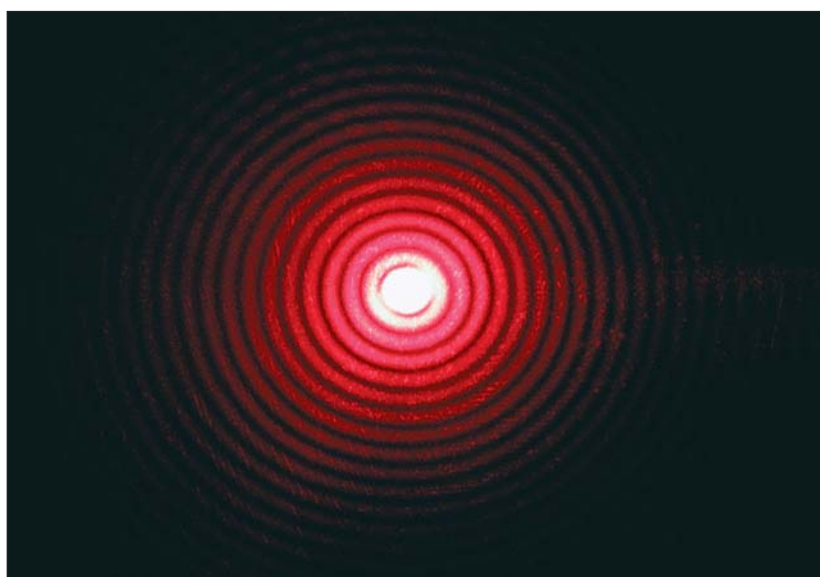
вых колебаний Френель в 1822 г. предлагает теорию преломления в одноосных и двухосных кристаллах и вводит понятие трехосного эллипсоида упругости, позволяющего определять нормальную и лучевую скорости волны в кристалле. Входящее в нее уравнение, позднее названное *уравнением Френеля*, в настоящее время — основное уравнение кристаллооптики. (При этом он поясняет: «Нельзя было открыть истинное объяснение двойного преломления без одновременного объяснения явления поляризации, которое его постоянно сопровождает: вот почему лишь после того, как я нашел, какого рода колебания образуют поляризацию света, я смог усмотреть механические причины двойного преломления» [1. С.513]). Но его доказательства отчасти оказались ошибочными при интуитивно полученных им верных выводах.

Итак, волновая теория не смогла ответить на вопрос о природе света. Ответ был дан теорией электромагнитного поля Дж.К.Максвелла, в соответствии с которой «свет есть электромагнитное возмущение в непроводящей среде. Если мы допустим это, то электромагнит-

ная теория света будет во всех отношениях согласна с волновой теорией — и труды Томаса Юнга и Френеля будут утверждены на более прочном основании...» [8. С.61]. После опытов Г.Герца и П.Н.Лебедева это стало очевидным.

Со временем приборы для получения в опытах дифракционных картин, измерения длины и спектральных характеристик световой волны становились более разнообразными, совершенными и точными. Особенно заметно возросли возможности наблюдения, изучения и измерения волновых свойств света с изобретением дифракционной решетки Й.Фраунгофером, а спустя столетие — с появлением квантовых источников света, созданных Н.Г.Басовым, А.М.Прохоровым и Ч.Таунсом.

В начале XX в. М.Планк предсказал существование квантов энергии, а затем Эйнштейн пришел к выводу о возможности квантования света и о наличии, таким образом, его частиц — фотонов. Теперь физики (ничего не отвергая при этом из волновой теории Френеля) вновь были вынуждены обратиться к отвергнутым событиями XIX в. корпускулярным представлени-



Дифракционная картина, полученная при прохождении лазерного луча с длиной волны 650 нм через отверстие диаметром 0.2 мм.

ям о свете, в свое время сформулированным величайшим ученым И.Ньютоном.

С созданием специальной теории относительности и проведением тонких оптических опытов наблюдается расширение границ применения волновой оптики и отказ от мирового эфира как среды и системы отсчета. Но анализ опытных данных по равновесному тепловому излучению и фотоэффекту убедительно свидетельствовал, что, несмотря на попытки объяснить с помощью волновой теории возможно больший круг явлений, она имеет конечные границы приложения.

Л.де Бройль считал, что по этой причине «возникла необходимость в своеобразном синтезе или, скорее, последовательном сочетании волновых и корпускулярных представлений. И если Френель дал верную общую волновую интерпретацию известных к его времени или открытых им самим оптических явлений, то физики, принадлежащие к противной школе, по существу тоже не ошибались, предполагая существование дискретного аспекта в природе света» [9. С.37—38].

Занимаясь оптикой, ученый, однако, был в курсе научных открытий и за ее пределами. В частности, когда Ампер допустил наличие кругового тока вокруг тела магнита, Френель взамен этой гипотезы предложил свою, согласно которой токи существуют вокруг каждой молекулы магнита. В конечном счете Ампер согласился с гипотезой Френеля, отметив позднее его несомненное авторство.

Творчество ученого обычно содержит как открытия, так и заблуждения и ошибки. В короткой и продуктивной деятельности Френеля немало было и тех и других. Но, что удивительно, его ошибки не затеняли его достижения, а, напротив, высвечивали их значимость и масштабность и одновременно стимулировали развитие и уточнение его волновой теории.

«Природа проста и плодотворна»*

Обращаясь к методологии творчества Френеля, нельзя вновь не отметить его уникальную изобретательность в экспериментировании и теоретических обобщениях. Главным же даром великого ученого Франции была физическая интуиция: «Он буквально “чувствовал”, где лежит истина, и угадывал ее с исключительной прозорливостью» [1, С.26].

На практике ученый, как правило, следовал принципу механизации физических явлений. В его эпоху физическая теория признавалась таковой, если была построена на основе механики. Поэтому при разработке своих гипотез и их обосновании он широко и с успехом применял механические аналогии, модели и теории [10].

Механика служила ему научным основанием, и все же толкование оптических явлений в ее духе не было для него самоцелью. Да, законы механики применялись им, когда они помогали построению теории света, но ценность теории в целом определялась для Френеля прежде всего ее соответствием опыту, но никак не строгостью вывода.

Этим правилом измерял Френель и заслуги физиков: «Я отношусь к исследованиям Ньютона... с чувством самого живого и искреннего восхищения... Но как бы ни было велико интеллектуальное превосходство столь замечательного человека, он тем не менее также подвержен ошибкам. <...> Ничего не может быть более печальным для прогресса наук, нежели доктрина непогрешимости» [1. С.394].

В своих исследованиях Френель исходил из простоты гипотез, так как «простота же вычислений не может иметь никакого веса в балансе вероятностей. Для природы не существует трудностей анализа, она избегает лишь усложнения средств.

* Эпитаф к «Мемуару о дифракции света», удостоенному премии Академии наук.

Природа как будто задалась целью делать многое малыми средствами: этот принцип неизменно получает все новые и новые подтверждения...» [1. С.141].

Подобно коллегам по науке, Френель прекрасно владел как геометрическими методами, так и математическим анализом. Однако сама математика служила ученому-физику в основном инструментом выведения возможных законов и их формул из полученных данных. Поэтому и при решении проблем оптики он к особой строгости не стремился, его устраивали приближенные математические выводы.

Тот факт, что в поисках конечного результата он ограничивался получением приближенных уравнений, свидетельствовал, во-первых, о понимании им всей сложности тех же дифракционных эффектов, а во-вторых, о предвидении того, что и в будущем придется иметь дело с этими сложностями. Поэтому и в оптике XX в. популярными оставались нестрогие методы решения дифракционных задач.

В целом же гармония, выражавшаяся в сочетании минимума опытных средств и точности результатов с физической интуицией, приводила ученого к верным теоретическим обобщениям и выводам, а гармония между экспериментом и математикой позволяла ему получать первоклассные научные результаты. Впрочем, это не всегда спасало его и от разного рода неверных предположений и рассуждений.

Науке остались зеркала, призмы и линзы Френеля и, разумеется, его формулы, уравнения и интегралы служат и сегодня решению проблем и задач фундаментальной и прикладной оптики, радиофизики и даже ядерной физики. Они входят в науку и особенно в школьное и вузовское физическое образование в виде приборов, монографий и учебных курсов.

Итак, сила научного познания Френеля и простота, воплощенная им в орудиях наблюдения и математических средств

вах, помноженные на его потрясающую интуицию, привели в итоге к тому, что волновая теория, по выводам Лоренца, оказалась наиболее разработанной частью физики XIX в., по сути бессмертной, хотя и претерпевшей со временем изменения [11].

«Как мало прожито, как много пережито...»*

С переездом в 1818 г. в Париж 30-летний Френель продолжает активно вести научные исследования, сопровождая их публичными выступлениями, публикациями, общением и перепиской с коллегами. Он исполняет при этом с не меньшей ответственностью и обязанности инженера парижских мостовых и секретаря Комиссии маяков.

С 1819 г. Френель занимается маяками. Он изобретает систему ступенчатых линз, предлагая вместо одной большой линзы применять составную, собранную из концентрических колец, имеющих в сечении форму призм. Падающие на них лучи испытывают полное внутреннее отражение и выходят из линзы параллельно заданной оси. Его линзы по достоинству были оценены учеными и особенно практиками.

Жалование непритязательного в быту Френеля в тех условиях было достаточным для жизни, но малым, когда возникла нужда в покупке физических приборов. В это время экспериментатор без специального оборудования ничего приличного в науке сделать уже не мог. На себе Френель испытал это не один раз, заметив, что «в физике надо покупать честь делать открытия» [1. С.25].

Ученый искал дополнительный заработок и в итоге получил место временного экзаменатора учеников Политехнической школы. Но это было слишком обременительно для него,

с его порядочностью по отношению к знаниям экзаменуемых и к их последующей участи: его усилия приносили в это дело излишние душевные переживания, что плохо сказывалось на его самочувствии.

Проживая в Париже, Френель наряду с прикладными проблемами оптики продолжает заниматься и фундаментальными (в основном двойным лучепреломлением). Недомогания не позволили ему довести работу до конца, остались незаконченными доказательства полученных результатов, к которым он пришел отчасти чисто интуитивно.

Замкнутый, не имеющий семьи (из близких были лишь братья и дядя), Френель живет только одной наукой. К тому, что выходило за ее рамки, он относится без особого интереса: «Я вижу теперь, насколько глупо тратить столько труда, чтобы завоевать крохи славы, которую к тому же у вас оспаривают» [1. С.32]. Повидимому, последние слова относятся к Юнгу.

Юнг и Френель занимались одними и теми же проблемами оптики, решая их по-своему, причем с разной глубиной проработки. Поэтому вопросы приоритета нередко возникали вокруг открытий и того, и другого. Претензии подчас были завь-



Линза Френеля для маяка из экспозиции Национального морского музея. Париж.

шенными, ибо подогревались далекими от науки лицами. Но это не мешало отношениям ученых: они оставались уважительными, о чем свидетельствуют их переписка.

В общем же Френель болезненно переживал непризнание своих заслуг. При провале его кандидатуры в Академию он в письме именно к Юнгу писал: «Вы видите, волновая теория не принесла мне удачи; но это не отбивает у меня вкуса к ней: я утешаюсь в этом несчастье занимаясь оптикой с новым жаром» [1. С.64]. Позднее, уже в ходе новых выборов от 12 мая 1823 г., Френель был избран единогласно.

Создание Френелем волновой теории света принесло признание ему как на родине, так и за ее пределами: он стал академиком Франции в 1823 г. и членом Лондонского королевского общества в 1825 г., которое присудило ему медаль Румфорда в 1827 г. По нынешним меркам для ученого такого ранга званий и наград чересчур мало, но этот факт никоим образом не отражает всей значимости сделанного Френелем в науке.

У российских ученых теория Френеля находит признание уже с 1820 г. — о ней рассказывают в лекциях Н.И.Лобачевский, В.И.Лапшин, И.И.Боргман, а А.И.Садовский использует в исследованиях. Опираясь на теории Максвелла и Гюйгенса — Френеля, Садовский выдвигает гипотезу о вращательных действиях падающей на кристалл световой волны и доказывает ее. На родине Френеля его работы были изданы в трех томах в 1866—1870 гг., в СССР — только в 1928 г. и более полно (в одном томе) в 1955 г. [1].

В 1830 г. Араго отмечает, что «свидетельства уважения... и притом оказанного земляками Ньютона, учение которого французский физик поколебал в основании, считаю приговором на бессмертие в потомстве» [2. С.71]. К концу XIX в. стало очевидно: к волновой теории Френеля

* Слова из стихотворения С.Я.Надсона 1882 г. «Завеса сброшена».



Главное здание Института Франции. Это основное официальное научное учреждение страны, объединяющее пять национальных академий: Французскую академию, Академию надписей и изящной словесности, Академию наук, Академию изящных искусств и Академию моральных и политических наук.

можно что-то добавить, ее следует уточнить и в чем-то строго обосновать, но в ее основе ничего не надо менять.

Анализируя преимущество в развитии фундаментальных идей физики, Эйнштейн считает нужным подчеркнуть, что «теоретическая система, построенная могучим интеллектом Ньютона, была побеждена именно теорией света. Победу одержала волновая теория света Гюйгенса—Юнга—Френеля, которая преодолела сопротивление физиков, объяснив явления интерференции и дифракции» [12. С.261].

* * *

Начиная с 1824 г. здоровье Френеля еще более ухудшилось

и он был вынужден отказаться от продолжения своих исследований. В последние годы у него уже не было тех физических и духовных сил, что позволяли ему проявлять свой гений в его предыдущих научных работах, раскрывших тайны природы света.

Отказавшись от обязанностей экзаменатора и работы на маяках, страдающий от болезни Френель в 1827 г. переезжает на лечение в деревню Виль-д'Авре. Предчувствуя свою скорую кончину, ученый временами говаривал: «Я желал бы жить подольше, потому что надеюсь на счастье решить еще некоторые ученые вопросы» [2. С.105].

Имя Огюстена Жана Френеля вошло в историю — как автора волновой теории света, заняв-

шей свое место в науке. Ее развили последующие усилия У.Р.Гамильтона, Г.Р.Кирхгофа, А.Зоммерфельда, Х.А.Лоренца и др. Не сам ли факт дальнейшего совершенствования его теории другими свидетельствовал в пользу плодотворности идей и моделей Френеля?

Тяжелобольного Френеля посетил его друг Араго и вручил ему медаль Румфорда, присужденную Лондонским королевским обществом. А спустя неделю 14 июля 1827 г. выдающийся ученый скончался в возрасте 39 лет от туберкулеза и был похоронен вблизи Парижа. Его имя внесено в список великих ученых Франции, помещенный на первом этаже знаменитой Эйфелевой башни. ■

Литература

1. Френель О. Избранные труды по оптике. М., 1955.
2. Араго Ф. Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров. Т. II, III. Ижевск, 2000.
3. Творцы физической оптики. М., 1973.
4. Физика XIX—XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах: Физика XIX века. М., 1995.
5. Малкей М. Наука и социология знания. М., 1983.
6. Мах Э. Познание и заблуждение. М., 2003.
7. Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М., 1972.
8. Максвелл Дж.К. Статьи и речи. М., 1968.
9. Бройль Л. де. Революция в физике. М., 1965.
10. Механика и цивилизация XVII—XIX вв. М., 1979.
11. Лоренц Г.А. Старые и новые проблемы физики. М., 1970.
12. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. II. М., 1966.

«ЭВОЛЮЦИОНИСТ, ГЕНЕТИК, ХУДОЖНИК И ОТЧАЯННЫЙ ПРАВОЗАЩИТНИК»

К 100-летию со дня рождения Р.Л.Берг



Раиса Львовна Берг [27.03.(9.04.)1913—1.03.2006]
Фото 1940 г.

«Эволюционист, генетик, художник и отчаянный правозащитник», — так характеризует Е.В.Кирпичникова свою мать, Раису Львовну Берг, чей юбилей отмечался в апреле в Санкт-Петербурге. В университете состоялось заседание Санкт-Петербургского отделения Общества генетиков и селекционеров им. Н.И.Вавилова, на котором ученики и последователи Раисы Львовны рассказывали о достижениях генетики, которой она была предана. В Музее А.А.Ахматовой (Фонтанном доме) прошли вечер памяти юбиляра и однодневная выставка ее работ.

Раиса Львовна помимо множества научных трудов писала замечательные научно-популярные эссе и при жизни выпустила автобиографическую книгу «Суховей». Те, кто имел удовольствие читать эти работы, не могут не восторгаться ее простым и живым языком, умением ясно и доходчиво рассказывать о сложных биологических проблемах. К 100-летию Раисы Львовны вышла ее книга «Почему курица не ревнует», составленная Е.В.Кирпичниковой и М.Д.Голубовским из очерков автора. Один из них мы включили в нашу юбилейную подборку.

Преданная генетике

С.Л.Киселев,
доктор биологических наук
Институт общей генетики
им.Н.И.Вавилова РАН

*Все равно я сюда никогда не приду умирать,
Все равно ты меня никогда не попросишь: вернись.*
И.Бродский

Раисе Львовне Берг, дочери академика Л.С.Берга, повезло в ее научной карьере с самого начала. Свою дипломную работу на дрозофиле она делала в Институте генетики АН СССР под руководством будущего нобелевского лауреата и человека с весьма независимыми взглядами на окружающий мир, Германа Джозефа Мёллера. Вероятно, это знакомство и совместная работа предопределили характер и жизненный путь Раисы Львовны на долгие годы. Она оставалась преданной генетике даже будучи безработной в тяжелые годы лысенковщины в Советском Союзе, проявила свою независимость и гражданскую позицию, подписав в 1968 г. коллективное письмо с требованием не допускать закрытых судебных процессов над инакомыслящими. В 1974 г. Раиса Берг покидает Советский Союз и с 1975 г. продолжает продуктивно работать в США, публикуется в журнале «Science».

Во второй половине 60-х годов Раиса Львовна активно занимается популяризацией науки, публикует ряд эссе, семь из них в журнале «Знание — сила». Эти очерки — не стандартное разжевывание непонятных научных терминов чуть более понятными оборотами, они скорее напоминают белые стихи, сочетающие эмоции и железную логику. Вчитайтесь: «Совершая свои отправления, кошка действует тщательно и аккуратно. Собака в той же ситуации поступает иначе. Два-три небрежных движения задними ногами, как будто на пожар спешит. Обернуться собака не дает себе труда. Ритуал совершается чисто формально, можно сказать — бюрократически*». Или:

«А что значит ревность?» — спрашивает собеседник.

— Ревность — это разновидность агрессивного поведения, направленная на представителя своего вида и своего пола.

«А что такое семья?»

— Семья, — говорю, — объединение представителей одного вида с целью совместного порождения и, главное, выращивания потомства.

«А разве курица с кем-нибудь объединяется, чтобы вырастить свое потомство?»

— Нет, не объединяется.

«Ну вот, потому она и не ревнует», — говорит он**.

Чего стоят одни названия «Почему курица не ревнует», «Чем кошка отличается от собаки». За детской формулировкой вопроса скрываются важные проблемы индивидуального развития и эволюционного процесса. С самого начала своего научного пути, еще работая в лаборатории Мёллера, Раиса Львовна пыталась связать цитогенетические механизмы индивидуального развития организма и эволюцию.

В предлагаемом вниманию читателей эссе «Геометрия живого и прогресс. Этюды о совершенстве» речь опять пойдет о взаимосвязи генетических основ жизни, структурной организации организмов и эволюции. Сегодня, с точки зрения ученого, далеко не все в этом эссе кажется бесспорным. Да, линейная структура генов и генома обеспечивает точность копирования, т.е. передачи генетической информации потомкам. Но для проявления жизни, функционирования каждой клетки или их сотрудничества, уже необходима трехмерная организация геномы Н.К.Кольцова. Линейность прячется за сложной трехмерной структурой клеточного ядра, обеспечивающего правильную (последовательную не в пространстве, а во времени) работу генов. Современная сканирующая микроскопия позволяет реконструировать трехмерную структуру ядра, и геномы уже представлены не нитью, а сложной объемной структурой под названием хромосомные территории. В данной работе нити представляют организованный клубок генов, в котором при укладке нити не обходится без случайностей. И эта случайность закономерно приводит к проявлению той или иной функции. Выстраивание в линейку происходит только во время клеточного деления, когда неизвестные ранее силы, представленные сегодня специфическими белками микротрубочек, растаскивают хромосомы в дочерние клетки. Но это новое знание не существенно для понимания философии эволюции жизни, о чем и рассказывает автор: «Существа! Берегите друг друга! Твое бессмертие не в тебе, а в другом».

Р.Л.Берг оставила богатое научное и публицистическое наследие, которое после прочтения предлагаемого эссе, уверен, заинтересует читателей.

* Берг Р.Л. Чем кошка отличается от собаки // Знание — сила. 1968. №1.

** Берг Р.Л. Почему курица не ревнует // Знание — сила. 1967. №1.

Геометрия живого и прогресс

Этюды о совершенстве

*Не жизни жаль с томительным дыханьем,
Что жизнь и смерть? А жаль того огня,
Что просиял над целым мирозданьем,
И в ночь идет, и плачет, уходя.*

А.Фет

Р.Л.Берг

Свобода или ограничение?

Вернуться во времени нельзя. Нет сил, способных не то что остановить, а задержать, замедлить его бег. Сравнивая это жалкое положение, этот предельный детерминизм и свободу передвижения, да еще не в одном, а в трех измерениях, начинаешь ценить свою собственную объемность, свою способность менять положение в трехмерном пространстве.

Время и пространство. Последовательность и протяженность. Длительность и мерность. Все развитие материи — переход от одного уровня организации к другому — это возникновение связей и границ, форм и деформаций, это — творчество пространств и времен. Без изменения — нет времени. Время — последовательность и ее производные — ритм, темп. Без времени нет пространства. Частица, чертящая путь, не просто перемещается. Она творит пространство и время. Пространство — атрибут формы, время — ее видоизменения.

Эволюция материи — это прежде всего эволюция пространства, это — превращения времени. Ограничения создают мерность — неравную вероятность соединений, и на тех же путях возникает длительность — неравная вероятность направлений изменения. Протяженность железнодорожного пути немаловажна, если рельсы не

соединяются концами, а сваливаются в кучу, как и когда попало. Время — ничуть не меньший соучастник творчества, чем «стих, мрамор или металл». Между многомерной молекулой полимера, кодирующей наследственную информацию в каждой клетке живого организма, железнодорожным путем и кристаллом поваренной соли нет в этом смысле ни малейшей разницы. Без упорядоченности событий во времени, создающей организацию пространства, эти разнообразные предметы не существуют. Шаг, и еще шаг, и если шагнуть дальше можно только в том же направлении, в каком было сделано предыдущее движение, возникает последовательность и ее пространственно-временные атрибуты — протяженность и длительность. А как та, так и другая — это уже нечто поддающееся измерению. Время и пространство неотделимы, более того, взаимообусловлены.

Живая ткань органического мира сплетена в виде разнообразного и строго ритмичного узора. Пространственным повторениям — ритмам узора — строго соответствуют повторения во времени — музыкальные ритмы. Смена звучаний создает то величественное явление, которое мы называем эволюцией.

Каким-то интимным образом время и пространство связаны с понятием свободы. Свобода, точно так же, как последо-

вательность, как протяженность и длительность, — там и только там, где есть необходимость — ограничение. Не просто возможность, а выбор между возможностями. Но возможность одного предполагает невозможность другого. Свобода выбора — порождение ограничений. Познать, как претворяется в эволюции живого эта связь свободы и ограничения, — значит, познать сущность жизни. На то и претендуем...

Используя сонмы ограничений, живое завоевало пространство, совершило восхождение по ступеням мерности, от одного перешло к двум, затем к трем измерениям, вышло за пределы трехмерности и открыло себе путь к множеству измерений. От подчинения произволу неведомости живые существа перешли в мир гравитационных сил и обрели свободу передвижения. Став необходимостью, она превратилась в пути. Дистантная сигнализация, обмен информацией, все формы связей между трехмерными существами, объединение их объединений — это прорыв в четвертое, пятое, энное измерение.

Так живое добывает и теряет, и вновь завоевывает свободу, так выбор заменяется творчеством, и создатель обретает право не только безнаказанно, но и с пользой для себя вкушать от древа познания добра и зла. Расширяются границы самой свободы.

Но оставим прискорбные мысли о необратимости времени и постараемся подвергнуть анализу то благо, которым мы владеем: наши три измерения. Наша трехмерность. Что она? Непременное свойство живого или вершина, венчающая долгий путь развития? Был ли первый зачаток жизни трехмерен? Я попытаюсь показать, что трехмерность — эволюционное приобретение и что на путях ее достижения, как и на всех других путях, раскрывается закономерный ход эволюции.

Эволюция — изменение, но ее результат — надежность, гарантия неизменности. Она непрерывна, но шаги ее дискретны. У нее — свое собственное время. Смена поколений — колесико секундной стрелки ее часов. У каждого вида живых существ свои часы, своя временная шкала, свой календарь.

Эволюция — проявление космических сил, и она вся — во власти земного. Она — согласование маловероятного с повседневным. Ее ход закономерен, игра ее идет по правилам, но она ни на миг не перестает быть игрой. Исход ее — только один из конечного числа вариантов, но вариант этот непредсказуем. Не только закон, но и случай решают, кому достанется победа, а кому — поражение.

Недаром сказал поэт: «Представьте себе природу, которая как бы стоит у игорного стола и неустанно выкрикивает: *Au double!* (удвоить ставку!), то есть, пользуясь уже выигранным, счастливо, до бесконечности продолжает игру сквозь все области своей деятельности. Камень, растение, животное — все после таких счастливых ходов постоянно, вновь и вновь идет на ставку и, кто знает, не является ли весь человек, в свою очередь, только ставкой на высшую цель?»

Я привожу эти слова Гете в переводе Л.С.Берга (Теории эволюции. Петроград: Academia, 1922. С.42).

Полтора столетия назад снизошло на великого поэта и на-

туралиста озарение, выраженное им в афоризме, а в 1943 г. В.И.Вернадский написал: «Биохимик, как мы уже видели, указывает не на случайность эволюционного процесса, а на его направленность (цефализация), которая фактически отмечена еще до Дарвина — Д.Дана». Противопоставление случайности и направленности здесь совершенно закономерно. А ведь именно Вернадский, говоря об организованности биосферы, с предельной ясностью ограничил ту область, где господствует случай: «Механизм отличается от организованности тем, что в нем отдельные части очень связаны друг с другом и никаких отклонений в их положении... нет. Наши хорошие карманные часы, например, являются характерной формой механизма. В организованности такой точности нет. Явления слишком сложны и зависят от целого ряда причин, и положения часто меняются в определенных количественно пределах, за которые они не выходят». (Химическое строение биосферы Земли и ее окружения). Ни пределы возможных изменений, ни массовый характер преобразований, ни резкость и взаимообусловленность процессов, протекающих в геологической оболочке планеты, охваченной жизнью, не исключают случая из числа средств, которыми пользуется жизнь, противостоя разрушению, эволюционируя.

Эволюция включает в себя все: неогенез — непредсказуемое новообразование, противоположность осуществленной программы и одновременно — номогенез, движение по заданному руслу. Предельный детерминизм сочетается с вероятностным программированием, проектирование — с самонастройкой. Случай творит закон, пусть статистический, и закон оставляет место для случайного поиска верных решений. Шанс подвергается случайно, волею судеб выпадает козырь. Ис-

пользовать удачу можно тысячами способов. Наготове средства, чтобы превратить уродство в защитную маску, обратив яд, циркулирующий в тебе самом, против претендентов на твою плоть и кровь. Вред, условный вред, условная польза, профит — соединены всеми переходами. Нет! Более того! Слиты в одно.

Эволюция — атрибут сонмищ, и не только существ, но и ситуаций. Она осуществляется множеством способов, сами ее законы меняются во времени. Только при рассмотрении с разных точек зрения вырисовывается ее извилистый контур.

Эволюция случайна. Неверное это утверждение совсем не однозначно утверждению, что эволюция строится на случайных событиях.

Эволюция закономерна. Так. Но власть ее законодателей не безгранична. Случай — мера категоричности ее команд.

На чем зиждется интуитивное убеждение, что современные обитатели нашей планеты прошли долгий путь совершенствования? На их совершенстве. Внезапное возникновение сложного устройства кажется невероятным. По аналогии с техническим прогрессом рисуется постепенное усложнение организации живых существ. Еще Лукреций, римский поэт I в. до н.э., думал так. Того же мнения наш современник Станислав Лем, советуя прочитать его монументальный труд «Сумма технологий». Эволюция вероятна. Закономерна ли она?

Охватите органический мир в его целом. Он сложен, многообразен. Высшие и низшие формы сосуществуют. Высшие пронизаны низкоорганизованными, питают их, содружествуют с ними, гибнут от них. Есть множество вариантов высокой организации и способов ее поддержания, но и мелочь ревностно блюдет свою лилипутскую кастовость. Однако в чем-то все они равны. Ценность в неповторимости каждого. Каждый

наилучшим образом выполняет свою миссию в поддержании высшего целого, обеспечивает жизнь других и тем самым свою жизнь.

Преходящий элемент сообщества живых организмов — сами организмы. А их устройство — намного сложнее, и уровень их организации выше, чем уровень организации сообщества. Дятел — более совершенная система, чем лес, но, чтобы лес был лесом и пребывал в веках, поколения дятлов приходят на смену друг другу. Да что там дятел? Человек, не просто человек, а Аристотель, Ньютон, Вернадский — только уголь в топке парового котла биосферы. Сообщество — доменная печь, где топливом служат транзисторы (или компьютеры).

Но то, чему следует поучиться у сообщества, это — согласованность его частей. Принципы согласования, соотношение устройства целого и устройства частей, использование простых приборов и простейших инструментов в сложном комплексе, процессы управления, наконец, одни и те же в живой природе и в технике. Не будем отказываться от сравнения с машиной.

Организмы, как части машины, объединяются для совместного поддержания своего существования, и роль каждого в общей игре предопределяет его эволюцию.

Запрет на эволюцию. Почему гены маленькие?

Тайна совершенства — в свободе выбора. В той мере, в какой предоставлена свобода выбора, игра подвернувшихся шансов, в силу вступает случай. Эта свобода выбора — поле действия отбора — есть она или нет? Не будь ее, и мы не достигли бы в нашей эволюции даже уровня развития амебы. Но была ли свобода безграничной?

Разнообразие органического мира кажется нам беспредельным и безграничными представ-

ляются игра использованных шансов, всемогущество отбора, — настолько различны в этой игре ставки разных видов.

Загипнотизированные разнообразием, мы забываем о сходствах. Там, где мы наталкиваемся на них, мы объясняем их родством, сходством путей эволюции — чем угодно, только не запретом на эволюцию, на усложнение организации.

Равенство ничтожных — продукт несвободы. Лучшее доказательство тому — ген, единица наследственности. Ген подобен дирижеру, исполняющему одновременно партию первой скрипки. Одна его миссия — управлять другими, вторая — воссоздать заложенную в нем самую информацию. Структура, осуществляющая две эти миссии, подвергается перекрестным запретам. Отсюда противоречие: она должна обладать довольно сложным устройством, и в то же время ей надлежит быть простой. Свобода выбора стратегии ограничена до предела. Достигла определенной степени организованности, и — стоп! На дальнейшее усложнение наложен запрет.

Гены воспроизводят себя и управляют развитием. Их миссии одни и те же у вируса табачной мозаики и у человека, у мыши и магнолии... Сходству назначения строго соответствует сходство строения. Гены выстроены в линейку. Хранилище наследственной информации — нить. Великий цитогенетик Н.К.Кольцов назвал ее генонемой. Читатель уже знаком со строением генонемы — это двойная спираль. Очень длинная. Такая длинная, что ее с полным правом можно назвать однономерной. Нить, скрученная из двух нитей, остается нитью.

Одинакова у всех существ не только геометрическая конфигурация пульта управления, тождество распространяется и на его химический состав. Генные нити — мономолекулы нуклеиновых кислот. Команды закодированы на языке нуклеотидов.

Управление развитием — перекодировка с языка генов на язык признаков (белков). Есть чему удивляться, когда вы узнаете, что одни и те же тройки нуклеотидов подают команду одной и той же аминокислоте занять свое место в белке безотносительно к тому, совершаются эти события в лепестке розы или в клешне скорпиона, у вируса или леопарда. Родство?

Геометрическое сходство генной нити вируса и мыши так же мало говорит о родстве вируса и мыши, как сходство строки письма и магнитофонной записи — об их родстве с вирусом, мышью, или друг с другом. Гены выстроены в линейку потому, что нитеобразная структура способна делать то, что не способна совершить ни одна другая — ни плоскость, ни объем: развертывать во времени информационную запись. Генам линейность задана с предельной жесткостью. Осуществлять сборку, считывая информацию, может только нить и только она одна.

Нигде закономерность эволюции не проявляется так ярко, как в этом запрете на иную форму, кроме нити. Сколько бы раз, на какой бы планете какой бы то ни было галактики ни возникала жизнь, геометрия ее прозачатков со стопроцентной вероятностью предсказуема.

Гены менялись, оставаясь самими собой, сохраняя способность самовоспроизведения. В пределах хранилищ число их могло возрасти, их перестали удовлетворять проза разрушения и будни строительства, возникли гены одаренности: музыкальности, способностей творить красоту; но сами они оставались ничтожными. Откуда же исходит строжайший запрет на усложнение организации гена? Источник вето — совершенство. Совершенство выполнения миссии.

Э.Шрёдингер в книге «Что такое жизнь? С точки зрения физика» спрашивает, почему атомы маленькие. Его ответ

гласит: потому что мы большие. «Мы» у Шрёдингера начинаемся с вируса, и нам нужны большие размеры, чтобы преодолеть разрушительную силу теплового движения молекул и осуществить ту меру организованности, без которой невозможна сама жизнь.

На вопрос — почему малы гены, ответ тот же. Потому что мы по сравнению с генами — гиганты. Долгим путем мы шли к увеличению наших размеров, к усложнению организации. Дело, которое мы делаем, — захват вещества и энергии, — от увеличения наших размеров выигрывает. Гены остались маленькими потому, что дело, возложенное на них, надлежит делать молекуле-полимеру — длинной нити. Самовоспроизведение путем построения своей копии и сборка белков были для генов теми испытателями пригодности, которые пропускали одномерных, а перед сложными, перед многомерными опускался шаг баум.

Сложный, блистательный, прекрасный, феноменально разнообразный органический мир планеты создавался веками и продолжает создаваться у нас на глазах. Но где-то в глубине бытия все остается по-старому. Надежность самовоспроизведения субмикроскопически малых, едва вышедших за пределы химического уровня организации структур-геном — грандиозно возросла. Способ самовоспроизведения и, главное, их собственная организация остались неизменными.

Сходство хранилищ наследственной информации всех без исключения живых существ — не показатель родства, не свидетельство происхождения от одной нити, случайно занявшейся маловероятным делом — жить, а результат строжайшего запрета на усложнение, на разнообразие.

Гены оказались весьма пригодным материалом для сравнения с высшими формами. Ключ к тайнику прогресса — преимуще-

ство сложного перед простым. Там же, где преимущество на стороне наипростейшего, оно навеки застывает во всей своей первозданности. Прогресс — дитя свободы выбора.

Размер и конфигурация пульта управления — геномы — важны для нас и еще в одном отношении. Ген — основа жизни. Жизнь зародилась в форме нитей, способных осуществлять процесс самовоспроизведения. Построение своих копий и отторжение построенных по своему образу и подобию дочерних матриц кладет грань между живым и неживым. Жизнь возникла в виде структур, подобных нынешней геноме. Одномерность была ее неотъемлемым свойством. Не только считывание информации играло здесь роль. Одиночные молекулы полимеров имели преимущество в скорости самовоспроизведения перед всеми остальными структурами. Им было важно использовать максимальную поверхность при минимальном объеме. Конкуренция за строительный материал вынуждала форсировать сборку себе подобных. Принести в жертву часть поверхности в целях объединения усилий в борьбе за жизнь, как впоследствии «поступили» клетки, геномы не могли. Важнейшее дело — использование веществ, пригодных для построения копий, — им легче было делать в одиночку. Одиночные молекулы побеждали. Одномерность была оружием.

Могучая когорта совершенств

Вот содружество трех видов животных, ни в чем не сходных друг с другом. Зоолог относит их к разным типам: антилопа — позвоночное, муха — членистоногое и трипаносома — простейшее. В игре эволюционных сил на долю трипаномы выпало чуть больше свободы, чем на долю генной нити. И по сложно-

сти строения трипаносома оставила генную нить далеко позади. Она существо одноклеточное, и в той клетке, из которой состоит ее почти нитеобразное тельце, все — как «у больших»: ядро с его хромосомным аппаратом, внеядерные структуры. Малюсенькое трехмерие, достаточное, чтобы накопить энергию для еще одного решительного шага в овладении пространством.

В чем же выразилась большая степень свободы у трипаномы по сравнению с генной нитью? Пусть читатель простит мне пространственный ответ — без него мои слова о тонкой и жесткой слаженности в существовании высших и низших форм могли бы остаться голой декларацией.

Антилопа — обитательница саванн — оккупирует территорию. Задача: не пустить никакое другое копытное, с которым нельзя вступить в союз для продолжения своего вида (писатель сказал бы «рода», но я не писатель). Антилопа ведет борьбу с себе подобным, а это самый опасный конкурент, если он не собрат по виду. На вооружении в этой межвидовой борьбе антилопа имеет своего собственного кровососа — муху цеце и своего возбудителя сонной болезни — трипаному.

Вы думаете, она, как князь из стихотворения Пушкина, рассылет гибель с помощью отравленных стрел — мух цеце, переносчиков сонной болезни. Вы правы, но только отчасти. Она платит дорогой ценой за свою безопасность — собственной кровью. Трипаносома размножается в ее крови, разрушает ее кровяные тельца, но сонной болезни не вызывает. Мухи цеце пьют ее кровь и делают пересев трипаносом от антилопы к антилопе. Мухи не только способствуют приумножению смертоносного оружия, они транспортируют его на поле боя. Стоит лишь мухе-убийце ужалить чужака, как в кровь его проникает возбудитель сонной болезни.

Он, не приспособленный к сосуществованию с паразитом, заснет надолго. Антилопе не нужно пускать в ход рога. Победа оплачена ею заранее.

Антилопа, муха и трипаносома — могучая когорта, как единое целое ведущая борьбу за жизнь, содружество множеств — не единичных представителей видов, а видов как таковых. По отношению к антилопе муха, сосущая кровь, — паразит и все. Антилопа гонит ее, спасается от нее бегством. Трипаносома, разрушающая в массе кровяные тельца антилопы, — тоже не подарок судьбы. Вся система срывает, только если мух и трипаносом — великое множество. Только и знай, плати кровью за безопасность, давай себя кусать...

Мухе цеце антилопа нужна как хлеб. Нет, еще много нужней, чем хлеб. Кровь жертвы не только единственная, ничем не заменяемая пища мухи. Она стимулятор половой активности самок кровососов. Только та самка, которая доказала свою способность пить чужую кровь, допускается к размножению. Кто не сосал, не достигает зрелости. Удел инфантильных — бесплодие. Найти другой источник питания, помимо крови, муха не может. От трипаносом мухе один вред. Паразит разрушает клетки слюнных желез мухи, пристраиваясь поближе к хоботку*.

Из всех трех видов в наилучшем положении трипаносома, она не терпит ущерба ни от кого. Она прекрасно приспособлена, она процветает. Но за свое благополучие она платит много дороже, чем антилопа за свою безопасность.

Цена благоденствия паразита — отказ от прогресса. Нельзя одновременно съесть кекс

и иметь его — гласит английская поговорка. Путь к увеличению размеров, к усложнению организации, к выходу за пределы одного измерения для трипаносомы закрыт. Хоботок мухи цеце — тончайший капилляр. Чтобы попасть в рай, трипаносома должна пройти через отверстие много меньше игольного ушка. Муха диктует паразиту его калибр. Не будь хоботка, ту же роль сыграло бы кровяное тельце антилопы. Тот, кто неспособен размножаться внутри одной клетки, обречен на гибель.

В каждом поколении каждый представитель трипаносом без единого исключения проходит через два испытания на ничтожность. Простота строения, микроскопические размеры дают трипаносоме возможность сурово управлять составом сообщества. Она назначает, кому жить, кому сгинуть. Она ест кекс или, если угодно, она имеет его, но есть кекс и одновременно иметь его — ей не дано. От прогрессивной эволюции она отказалась. Выбора у нее нет. А там, где нет выбора, и жизненное предназначение лучше всего выполняется примитивным устройством, на усложнение организации наложен запрет. Запрет этот, повторю, был чуточку менее жестким, чем у генной нити, и трипаносома использовала крошечную свою свободу, чтобы достичь большей сложности, большего совершенства. У нее есть не только ядро с хромосомным аппаратом и все органеллы в цитоплазме, но даже имеются средства для активного передвижения — малюсенькое трехмерие, достаточное, чтобы накопить энергию для еще одного решительного шага в овладении пространством.

Однако другие клетки сделали шаг вперед по сравнению и с трипаносомой. Судьба не связывала их благополучие и процветание с необходимостью проникать в игольное ушко в виде хоботка мухи цеце. Эти клетки стали еще сложнее, еще

совершеннее, возникло множество их разнообразных форм. И все же на них лежит проклятие ничтожности. Путь к трехмерности — к новому уровню сложности и совершенства — этот путь клеткам преградил барьер: главный принцип их собственной организации — делимость.

В борьбе за трехмерность

Трехмерность — не изначальное свойство живого. Где-то она возникла и играет с той поры свою роль в жизненной драме. Откуда она?

Путь, ведущий от одиночных нитей к нам, высшим организмам, лежал через образование клетки. Маленький кусочек пространства был захвачен, завоеван, включен вовнутрь самого себя. Не очень большой шаг в превращении трехмерного пространства из вещи в себе — в вещь для нас.

Клетка трехмерна, но микроскопически мала. Топологически клетка двумерна. Математики знают, что это значит. Плоскость — высшее ее достижение, арена всех процессов, протекающих в ней. Клетка, помимо геном, строго сохраняющих свою линейность — это мембраны, слои, свернутые в сферы, тончайшие сита, кружевные сети.

Выйти за пределы своего крошечного объема, ограниченного, расчлененного множеством плоскостей, клетка не могла. Поймите ее. Она совершила величайшее дело: изобрела новый способ самовоспроизведения — деление. Ничего не отбрасывая, не разрушая, она создает два своих подобия, исчезая и одновременно пребывая в них. Все, что в ней есть, совместно с делимостью. Делимость — антипод индивидуальности — наложила строжайший запрет на увеличение размеров, на усложнение клетки. Отсюда феноменальное сходство делящихся клеток.

* Этот пример паразитизма, перерастающего на видовом уровне в симбиоз, взят мной из трудов В.Н.Беклемишева — знаменитого паразитолога, эволюциониста и в то же время сторонника теории гармонии природы.

Генонема создавала свою копию вне себя. Старая матрица строила новую — пространство, которое занимала новая нить, принадлежало только новой, и старуха не претендовала на него.

Клетка оказалась в ином положении. Новое создавалось в ней самой, совмещалось со старым в границах, очерченных клеточной оболочкой. Деление клетки — единственный способ ее самовоспроизведения — строго организованное передвижение старых и новых структур. Но ведь эти структуры никакими, решительно никакими средствами передвижения не обладают. Силы, перемещающие с места на место генную нить, заставляющие ее сперва конденсироваться, а затем деконденсироваться, располагаться в плоскости экватора клетки, а затем двигаться к одному из двух полюсов, — механохимические силы — остаются неразгаданными. Одно можно сказать с полной уверенностью — это силы, действующие на коротких дистанциях.

Великий знаток клеточных делений Мэзия утверждает, что возникновение двух жирафов из одного жирафа с помощью этих сил — вещь непредставимая. Жирафы размножаются не так, как размножаются составляющие жирафов клетки. К этому можно добавить, что и мыши размножаются иначе. Разница в размерах мыши и жирафа не имеет решительно никакого значения — расстояния, которые способны преодолевать тела, движимые механохимическими силами, исчисляются тысячными долями миллиметра, а сами тела хоть и большие, даже гигантские, но все же молекулы.

Став на путь самовоспроизведения с помощью деления, клетки тем самым избрали микроскопические размеры и ограничили себя ими.

Увеличить свою емкость, включить в свой состав большие части пространства, выйти за пределы микромира оказалось под силу только коллективам, организованным множествам.

Вот тут среди действующих сил эволюции и заявило о себе во весь голос трехмерное пространство. Клетки стали объединяться сотнями, тысячами, их биологическое двумерие распространилось в третье измерение. Запреты, диктуемые плоскостью, оказались отброшенными. Неизмеримо расширилось поле для свободного поиска питательных веществ и энергии.

Бешеная конкуренция за источник сырья и энергии толкнула первозданную мелюзгу на путь образования концернов. С единообразием было покончено навсегда. Множество способов добытия вещества и энергии соответствуют тьма и тьма форм. Каждое живое многоклеточное существо — трест со своей сырьевой и энергетической базой.

Впрочем, прыжок в трехмерие — достижение новых высот совершенства — имел, как все на свете, свою оборотную сторону.

Просчет природы

Борьба за свободу выбора на поле игры эволюционных сил объединила простейших, обладавших способностью делиться и потому быть бессмертными (гибель по воле случая тут не в счет), в многоклеточные организмы.

Свобода выбора предоставилась в изыскании различнейших средств обезпечить себя сырьем, подвести под самовоспроизведение солидную энергетическую базу. Создались и заработали аппараты — добытчики стройматериалов, трансформаторы энергии, трубопроводы, трансмиссии, пульта автоматического управления, службы связи, депо. Проблема сырья и энергии была решена тысячью разнообразных способов. Огромный общеземной трансформатор энергии — органический мир планеты как единое целое — стал усложняться, вовлекать все новые атомы

в свой круговорот. Экспансия жизни шла на воде и на суше. Ствол дерева, скорлупа яйца, крыло были ее техническими средствами. Скорлупа яйца позволила заселить сушу, оторваться от водоемов, это была эскалация вширь. Ствол дерева послужил для завоевания атмосферы, создал глубины наземной жизни, устремил ее вверх.

Каждое нововведение, в свою очередь, открывало множество путей для захвата вещества и энергии, для поиска сырья, совершенствовались его переработка и использование. Генеральный конструктор не дремал за работой. Он достиг многого. Но сочетать сложность организации с индивидуальным бессмертием он не сумел.

Отличался ли он непостижимой узостью взглядов? Или он подчинился необходимости? Или это была временная его уступка, сделанная, чтобы добиться своего на более высоком уровне? Овладение трехмерным пространством открыло путь к неизмеримому совершенству. Но — по необходимости? — оно же наложило на высшие организмы новый запрет.

Добытчики энергии и веществ, пригодных для построения нашего тела, — в нас. Благодаря им мы стали такими сложными, умными, образованными, смелыми. Но — мы неделимы! Сложность машин, обезпечивающих нашу сырьевую базу и энергетикку, несоместима с делимостью, и потому — мы смертны.

Сосредоточим наше внимание на том, чего не достигла органическая эволюция. Это трудно. Нет колеса, в животном мире нет семилучевой симметрии, ни у одного живого существа нет шести пар ног. Все это пустышки, сущие пустышки. Нет, и не надо.

Но есть вещи, непостижимые в своей нелепости, разрушающие представление о гармонии природы, вещи неприемлемые. Нет сочетания сложности строения с бессмертием. Умирают

только высокоорганизованные существа. Все совершенное смертно. Бессмертие — атрибут ничтожного: генных нитей, делящихся клеток.

Породить духовный мир, неподверженную тлену душу и сочетать ее со смертным телом. Увы! Какой просчет со стороны эволюции! Где тот барьер, который в своем безумном галопе она не сумела взять? Какая непростительная ошибка — наделить природу в лице ее высших представителей самопознанием и заставить тех, кто способен познавать, строить себя из обломков чужих жизней. Известно, как страстно мечтал об автрофности человечества Вернадский.

На стадии единичных, разрозненных клеток почти нечему было жить, но ничто не было обречено на неминуемую гибель, хотя умирало от случайностей мириадами. Мы обрели смысл жизни и одновременно неотвратимую смерть... Теперь мы вольны сливать воедино проклятия тем законам эволюции, той игре случая, которые привели каждого из нас к лобному месту, и хвалу за великое благо.

А счастье — хочется сказать — было так близко, так возможно... Ну вот например. Нужно было подключиться к источнику энергии вне нас и чтобы по проводам подавалось нам все необходимое. Но лучше бы обойтись без проводов. Провод несовместим с кочевьем, говорю я девушкам, подающим кумыс и манты — род среднеазиатских пельменей — и зеленый чай из электрического самовара. Девушки смеются. Действие происходит в Алма-Ате, в юрте — павильоне национальных блюд, где казахи в войлочных белых шляпах чинно пьют чай,

скрестив ноги на полу, устланном ковром, и их сапоги, задранные, ждут их у входа, а электросамовар портит тут впечатление.

Провод несовместим не только с кочевьем, но и с космическим полетом. Сама идея освоения космического пространства не родилась бы в умах существ, скрепленных с внешним источником энергии. Будь так, и отключение, рационализация энергетической базы, переключение с одного источника на другой стали бы вопросом свободы.

Не надо провода, энергию должен нести луч — да ведь он и несет ее, но не каждому порознь, а всем вместе. Как множество — мы бессмертны.

Кто же законодатель эволюции?

Будем справедливы. Кое-чего жизнь все же достигла. Будучи закономерным движением, движением по разрешенным путям, эволюция добилась и прогресса, и бессмертия. Повысились надежность бытия, устойчивость индивидуального существования. Органический мир планеты, познающий самого себя в лице человека, бессмертен. Он сочетает прогресс и бессмертие — те свойства, которые не дано сочетать ни одному существу, взятому порознь.

Существа! Берегите друг друга! Твое бессмертие не в тебе, а в другом. Прошу прощения, читатель, за обращение на ты. Смысл фразы требовал единственного числа во что бы то ни стало.

Эволюция закономерным образом привела к созданию сложного мира — мира живых существ. Эволюция закономер-

на, потому что оценка совершенства осуществляется по отношению не к единичному, а к множеству — и это множество не только существ, но и связей. Вспомните триединую когорту — антилопу, трипаносому, муху цеце.

Цель эволюции — в создании и совершенствовании инженерных устройств, обеспечивающих максимум сопротивляемости. Физические и химические законы — участники эволюции, но не законополагающее начало. Законы эволюции диктуются на более высоком уровне организации материи.

Игла швейной машины, трипаносома, генная нить и нить швеи или ткачихи не случайно одномерны и будут одномерны всегда, пока существуют мир и они сами. Глядя на них, мы начинаем понимать, что не химическое строение материала, из которого они созданы, определяет их пригодность, а их организация в пространстве и их геометрическое соответствие той машине, деталию которой они являются. Это в первую очередь. Химия стоит на втором плане. Законодателей эволюции много. В их числе экономист и технолог, но председатель коллегии — инженер. Не безупречный, правда, но способный все же справиться с пространством в трех его измерениях. И на том спасибо!

Законы эволюции продиктованы порой с предельной жесткостью, с такой степенью жесткости, что она кладет запрет на саму себя. Так запретила она себе усложнить хранилище информации, так оставила она микроорганизмы микроорганизмами. Но иные ограничения оставляют место свободе выбора. Трехмерность — показатель прогресса — дитя этой свободы. ■

Мы прозревали рядом с ней

В.Н.Горбунова,

доктор биологических наук

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет

Раиса Львовна Берг сыграла определяющую роль в моей судьбе и формировании личности. В 1959 г. после окончания школы я поступила на биолого-почвенный факультет Ленинградского государственного университета (ЛГУ), поскольку меня совершенно не интересовали технические достижения человечества, но привлекало все связанное с жизнью, особенно загадочность ее возникновения и место в космическом пространстве. Я попала на отделение биохимии и биофизики, куда отбирали студентов с лучшими баллами, и мы чувствовали себя некоей элитой среди биологов и почвоведов. На первом курсе, бродя по факультету, я случайно заглянула на кафедру дарвинизма, расположенную рядом с нашей главной учебной аудиторией. В ту пору эта кафедра мало привлекала студентов, ведь дарвинизм был официальной доктриной и его силовое давление вызывало отторжение у передовой молодежи, к которой я без лишней скромности себя причисляла.

И вдруг на кафедре я столкнулась с Раисой Львовной*. В ней все было необычно — пронизывающий, умный, ироничный, равнодушный и в то же время доброжелательный взгляд черных как уголь глаз, гордая осанка, в которой чувствовалось достоинство и прин-

* Р.Л.Берг с 1957 по 1960 г. была доцентом на кафедре дарвинизма биолого-почвенного факультета ЛГУ, а с 1960 по 1963 г. — старшим научным сотрудником Биологического научно-исследовательского института ЛГУ. — *Примеч. ред.*



Сотрудники кафедры дарвинизма ЛГУ. В первом ряду в центре К.М.Завадский и Р.Л.Берг.

ципальность уверенного в своей правоте человека, стильная одежда, подчеркивающая неоспоримые женские достоинства. Но самое главное — ее речь. Мы росли в такую эпоху, когда ложь стала нормой жизни, мы впитывали ее с рождения, все владели эзоповским языком, умением читать и понимать между строк. В каждом слове Раисы Львовны была только правда, а смелость ее высказываний поражала. Все как будто прозревали рядом с ней и начинали видеть — а король-то голый. С первого взгляда я попала под очарование Раисы Львовны и тут же получила возможность включиться в совместную работу по оценке частот мутаций в природных популяциях дрозофилы.

Раиса Львовна была талантливым ученым, делавшим великие научные открытия. В биологии в наибольшей степени ее привлекали вопросы эволюции, видообразования, связь между генотипическими особенностями отдельных индивидуумов, и социальной структурой популяций. Помню, как Раиса Львовна мечтала о создании экспериментальных моделей «мушинных городов». Но если это не удастся сделать, говорила она, нужно изучать генетику человека, поскольку разные народы и государства — это естественные модели взаимоотношений между генетической и социальной архитектурой общества. Но планам ее не суждено было сбыться.



С дочерьми Лизой (слева) и Машей. 1950 г.

Свою докторскую диссертацию Раиса Львовна посвятила корреляционным плеядам — она изучала соотношения между изменчивостью размеров вегетативных и генеративных частей разных видов растений. Готовилась диссертация в период, когда Раиса Львовна, как и многие другие отечественные генетики, не могла работать по специальности и материал собирала на даче, подаренной прави-

тельством ее выдающемуся отцу академику Л.С.Бергу. Блестящая защита этой диссертации в Ботаническом институте АН стала одним из примеров бессилия правительственных запретов, которые не в состоянии заставить творческих людей перестать наблюдать и мыслить.

В годы моего студенчества наши контакты не ограничивались совместной работой, во время которой я с наслаждением слушала рассказы Раисы Львовны. После напряженного труда на кафедре, часто продолжавшегося до позднего вечера, мы, прихватив что-нибудь вкусенькое в Елисеевском магазине, ехали к ней домой, где ее ждали две дочери Маша и Лиза (10 и 11 лет) и очень интересные гости, среди которых не было скучных людей. Это могли быть студенты, люди искусства и науки, причем не только биологи, но и математики, физики, гуманитарии. После ужина, быстро приготовленного хозяйкой (а она была гурманом), садились за стол — и начинались разговоры. Запретных тем не было: обсуждали события в стране и мире, научные открытия, поэзию, литературу, искусство (тогда я, например, позна-

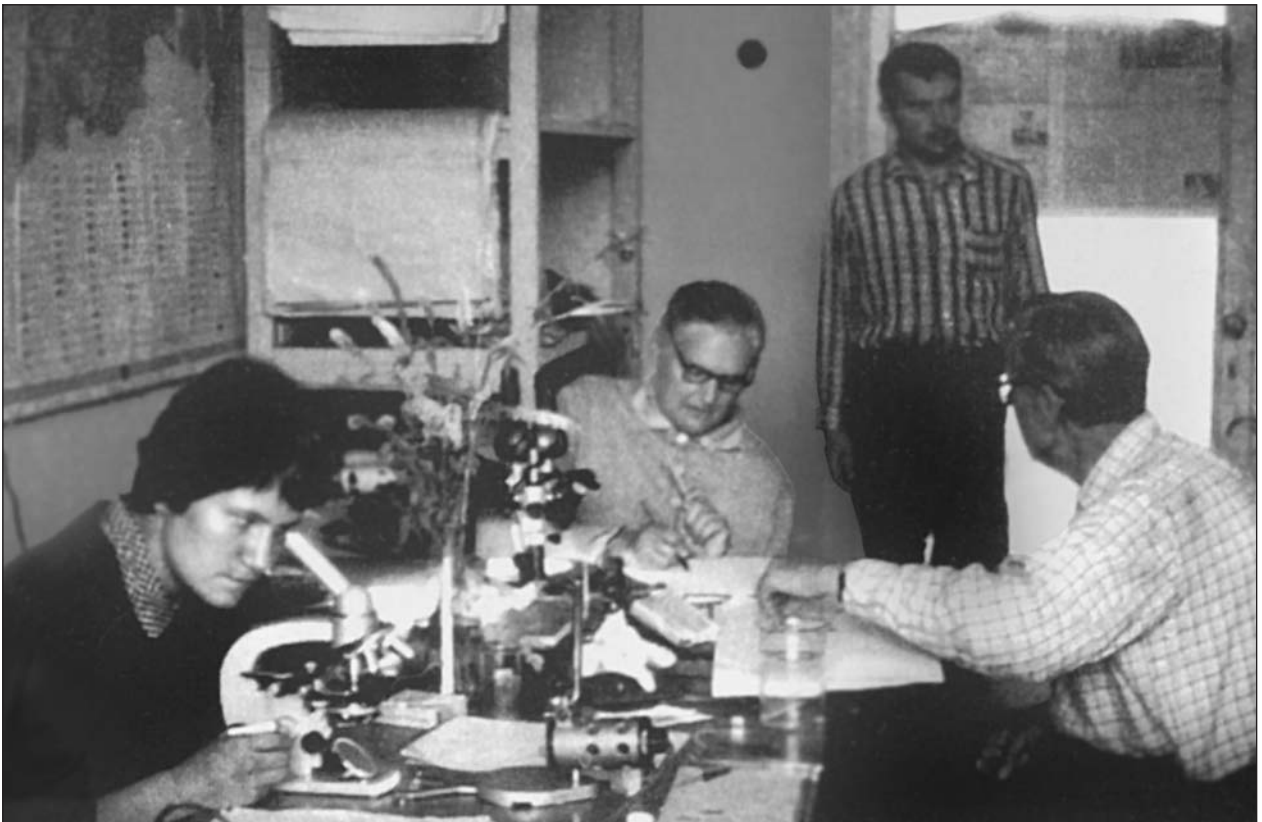
комилась с рукописным творчеством Иосифа Бродского). По всем вопросам Раиса Львовна имела вполне компетентное мнение, а ее позиция была бескомпромиссной.

Летом Раиса Львовна взяла меня с собой в экспедицию. Подобные экспедиции она совершала каждый год: убеждала начальство в их необходимости, находила деньги, тщательно планировала маршруты, сама готовила и упаковывала снаряжение, организовывала места проживания и работы, договариваясь при этом с десятками людей по всей стране. Раиса Львовна всюду находила талантливый людей и встречалась с ними. Мне особенно запомнились две встречи. Первая — с монахом в Эчмиадзинском монастыре Армении, который изучал историю армянской архитектуры и делал графические зарисовки древних памятников. Одна из подаренных мне тогда литографий до сих пор висит на стене у меня в доме. Этот монах не говорил по-русски, поскольку его родители в пору турецких погромов эмигрировали в Египет, где он, воспитываясь при монастыре, проникся коммунистическими идеями, вернулся в Советский Союз вскоре после войны и сразу попал в лагерь. Потом я узнала, что уже после нашей поездки в Ереван его повторно репрессировали. Вторая встреча — в Москве с сыном Сергея Есенина и поэтессы Надежды Вольпин — А.С.Есениным-Вольпином. Математик по образованию, поэт, философ и правозащитник, он на собственном опыте прочувствовал методы борьбы с инакомыслием с помощью «психушек». В 1972 г. Александр Сергеевич был изгнан из страны. Он эмигрировал в США, где работал в лучших университетах и доказал теорему, получившую его имя.

Одним из увлечений Раисы Львовны в ту пору была кибернетика, которая, как и генетика, имела клеймо «продажной дев-



Иосиф Бродский. Ленинград. 1963 г.



В дальневосточной экспедиции. Слева направо: студентка Катя, Р.Л.Берг, О.М.Калинин, И.А.Лихачев. Владивосток. 1966 г.

ки империализма». В ближайшем окружении Раисы Львовны было много математиков и физиков, она поддерживала дружеские связи с членом-корреспондентом АН А.Д.Александровым, тогда ректором Ленинградского университета. Увлечение математикой передалось и мне, и я решила получить математическое образование. Раиса Львовна не просто поддержала это стремление, но и попросила Александрова подписать мое заявление о переводе на математико-механический факультет, при условии сдачи экзаменов за первый курс обучения. В то время я не могла полностью оценить значение этого поступка Раисы Львовны, которая, находясь в должности ассистента, пошла на прием к ректору университета, специально для того чтобы ходатайствовать о моем переводе. Так я с 3-го курса биофака очутилась на 2-м курсе матмеха.

В 1963 г. Раиса Львовна переехала в Новосибирск — ее пригласили в Академгородок, в Институт цитологии и генетики (ИЦиГ) СО АН СССР, где она ор-

ганизовала лабораторию генетики популяций. Встретились мы с ней только в 1968 г. в лаборатории процессов управления Агрофизического институ-



Р.Л.Берг и В.П.Эфроимсон у могилы С.С.Четверикова. Горький. 1973 г.



Дома в Париже. 2002 г.

та (АФИ), в которой я работала после окончания матмеха. Дело в том, что в Новосибирске Раиса Львовна в составе группы из 46 других ученых подписала письмо в поддержку правозащитников. Это письмо было опубликовано в журнале «New York Times» и передано по «Голосу Америки». Дальнейшее пребывание Раисы Львовны в ИЦиГе стало невозможным, и она обратилась ко мне с просьбой о помощи в трудоустройстве. Мне удалось убедить заведующего лаборатории, тогда заместителя директора АФИ, Р.А.Полужкова в необходимости приема на работу Р.Л.Берг. В этой лаборатории она проработала более двух лет и съездила в очередную экспедицию. Однако бумаги о небла-

гонадежности Берг дошли и до Агрофизического института, и под давлением дирекции она была вынуждена уйти на пенсию. В 1975 г. Раиса Львовна эмигрировала в США, где и прожила последнюю треть жизни. В период перестройки она несколько раз приезжала в Россию с надеждой продолжить свои исследования. Но российская наука переживала тогда не лучшие времена.

Основное научное достижение Берг — открытие неравномерного характера мутабельности, так называемых «вспышек мутабельности», происходящих синхронно в географически разобщенных популяциях дрозофилы. Она считала, что явление это универсальное и должно распро-

страняться на популяции человека. Вместе с ведущими неврологами страны она собрала обширный материал по частотам рождения больных с такими наследственными заболеваниями, как миодистрофия Дюшенна, полинейропатия Шарко-Мари-Тута, и некоторыми другими. Статистическую обработку этих данных Раиса Львовна поручила мне. Несмотря на большие усилия, мне не удалось найти подтверждений выдвинутой Раисой Львовной гипотезы. Она сердилась на меня, связывая это с моей математической некомпетентностью.

Математику я разлюбила и приложила огромные усилия, чтобы вернуться в генетику. Мне посчастливилось работать в тех направлениях, интерес к которым в значительной степени был инициирован Раисой Львовной. Моя кандидатская диссертация посвящена оценке частот возникновения мутаций в созданных Л.З.Кайдановым экспериментальных линиях дрозофилы, отличающихся по некоторым признакам поведения. Потом мне представилась еще более счастливая возможность работать в области генетики человека.

Последняя моя встреча с Раисой Львовной состоялась в 1990 г. в Вашингтоне, куда я приехала на Международную конференцию по муковисцидозу. На квартире ее дочери Марии Валентиновны Кирпичниковой (она работала генетиком в Национальном институте здоровья) мы провели спокойный вечер воспоминаний. Скончалась Раиса Львовна в 2006 г. в Париже, куда она приехала по приглашению другой своей дочери — Елизаветы Валентиновны Кирпичниковой, генетика по образованию, активно занимающейся в последние годы литературной деятельностью.

До сих пор считаю Раису Львовну своим учителем и бесконечно благодарна судьбе за встречу с этим самым ярким человеком в моей жизни. ■

Фантастические — и человек, и судьба

В.Я.Фет,
профессор биологии
Университет Маршалла
Хантингтон, Западная Виргиния, США

Раиса Львовна Берг была моим первым настоящим учителем биологии. Не исключено, что я — один из ее самых молодых, последних по возрасту учеников. Мне было 12 лет, я учился в 7 классе, ловил водяных жуков и клопов, читал «Жизнь животных» и книги Н.Н.Плавильщикова. Понимал, что школьная зоология совсем недостаточна, а о генетике в школе даже элитарного новосибирского Академгородка говорилось немного. Хотя над Институтом цитологии и генетики (ИЦИГ) уже висели символы (и до сей поры висят) хромосомы дрозофилы, все четыре пары. У меня был драгоценный значок с этим изображением. Именно Раиса Львовна привезла в Новосибирск классических мух в начале 60-х годов, а в свой последний год работы в ИЦИГе она обучала меня скрещиванию дрозофил.

Осенью 1967 г. мне впервые доверили настоящий бинокляр, и я навсегда утонул «в колодце светлом микроскопа», как любил говорить Владимир Набоков (сам чуть там не утонувший, в 1940-х годах работая в гарвардском Музее сравнительной зоологии). Перебирая под бинокляром мух, усыпленных эфиром, слушал я разговоры младших научных сотрудников вокруг меня и быстро усваивал и биологию, и политику, и литературу. Именно тогда приезжали в Академгородок братья Стругацкие, и премьер-министр клуба «Под интегралом» Григорий



На биологической школе под Можайском. Слева направо: Р.Л.Берг, Н.В.Тимофеев-Ресовский, А.А.Прокофьева-Бельговская. Конец 60-х годов.

Яблонский (ныне профессор Университета в Сент-Луисе, США) вручал им приз за лучшее произведение о научных работах — «Понедельник начинается в субботу» (1965).

Дрожжевой запах шел по коридорам института — там варили мухам еду: кашку для личинок, дрожжи для имаго; разливали по чистым стеклянным пробиркам и мыли старые. Мертвых ненужных мух бросали в плошки с вазелиновым маслом. Их красные и абрикосовые глаза очаровывали своими фасетками, как отражатели на моем велосипеде. Дрозофильную поэзию я впитывал тут же, не отходя от Раисы Львовны, как 45 лет

назад ее друг Н.В.Тимофеев-Ресовский в Дрозосооре у С.С.Четверикова.

Выдавали мне и чудных белоглазых мух, ведущих родословную от мутантов, полученных самим Томасом Морганом. Научили особо важному ритуалу — отбирать и изолировать девственных самок, чтобы, вылупившись, они не успели скреститься с братьями. Я справлялся с «Практической генетикой» Н.Н.Медведева, экземпляр которой и поныне стоит у меня на полке в Америке. Там уже более 20 лет я преподаю все тот же менделизм-морганизм новым поколениям студентов на энергии, полученной от Раисы Львов-



В Новосибирске со своим учеником М.Д.Голубовским. 1978 г.

ны. Теперь на той же полке — книги из ее библиотеки, подаренные мне ее дочерью Е.В.Кирпичниковой-Берг: два драгоценных тома В.П.Эфроимсона с его автографами и рассыпающаяся в руках переводная книга В.Иогансена «Элементы точного учения об изменчивости и наследственности» (1933), по которой, видно, училась сама Раиса Львовна.

На следующий год, когда Раисы Львовны уже не было в Новосибирске, мои дрозофильные упражнения дали неожиданный эффект — наша станция юных

натуралистов решила послать меня с делегацией в Москву на ВДНХ. Я соорудил то, что сейчас называют «постер», — раскладной плакатик со схемой скрещиваний. В павильоне Юных техников и натуралистов мне дали слово. И там, среди мичуринских помидоров и юннатов, а также их мрачных руководителей, я произнес свою первую минилекцию по генетике о том, что надо заниматься *настоящей наукой*... Было лето 1968-го.

Чего я не знал тогда — это бездны человеческих трагедий, стоявшей прямо за спинами ге-

нетиков из поколения моего учителя. Прочсть о лысенковщине было негде. Мне было неизвестно, почему Раиса Львовна этим же летом покинула Новосибирск (она подписала «Письмо сорока шести»). Я был слишком юн, взрослые не говорили с нами о политике, и даже песни Александра Галича — спетые в марте того же года в ее доме — я не услышал. Но вне политики как таковой мне досталась лучшая часть — именно те выжившие дрозофилы, подобные привезенным в 20-х годах Г.Мёллером, учителем Раисы Львовны, а стало быть, моим «научным дедом».

А в 1967 г. Раиса Львовна дала мне прочсть только что переведенную книгу Шарлотты Ауэрбах «Генетика» (1966). В этой первой в моей жизни серьезной научной книге терминология казалась загадочной. Только постепенно до меня стало доходить, какое отношение имеет она к реальности. Помню, что я задал вопрос (весьма точный для моих 12 лет) — надо ли читать Ауэрбах как учебник или как популярную книгу. Раиса Львовна задумалась и серьезно ответила: «Скорее, как учебник». Я же, осмелев, принес и подарил ей найденные на черноморском побережье под Голой Пристанью раковинки морских желудей и выбеленные солнцем коровьи зубы. Именно об этом она вспомнила 27 лет спустя, в 1994 г., когда мы увиделись в Сент-Луисе.

Сегодня особое место на моей полке занимают толстый том воспоминаний Раисы Львовны «Суховей» (первое издание — Нью-Йорк, 1983) да еще в отличном английском переводе Дэвида Лоу (1988) — «Acquired Traits» («Приобретенные признаки») — книга, которую я постоянно рекомендую любому, кто интересуется советской историей и наукой. Таких книг мало — об этом писал М.Д.Голубовский, замечательный ученый, ученик и преемник Раисы Львовны, сравнивший ее тексты с прозой Надежды

Яковлевны Мандельштам и Зинаиды Николаевны Гиппиус.

Вот что, в частности, в «Сухое» написано, и поныне не нуждается в комментариях: «Чтобы выдвинуться, занять пост, нужны не научные заслуги, не знание истины, а безусловная готовность предать ее. Так было и так остается по сей день. Высокий пост с ученостью ничего общего не имеет и даже ей антагонистичен. Ученый чутко прислушивается к аргументации своего научного оппонента. Доминирующее положение в крысиной иерархии занимает тот, перед кем умолкают. Никто из прислужников Лысенко не мог отговориться незнанием, они ведали, что творили. Их оправдание — необходимость подчиниться силе — боязнь за свою дрожащую шкуру. Есть множество способов спастись от угрызений совести, спасти перед самими собой свое лицо, оправдать ложь и беззаконие. <...>

Много есть причин, почему генетика не погибла окончательно под сапогом лысенковщины. Одна из них — бесстрашие таких людей, как В.П.Эфроимсон, И.А.Рапопорт, Б.Л.Астауров, З.С.Никоро, М.Л.Бельговский, В.С.Кирпичников, В.В.Сахаров, А.А.Малиновский. Бесстрашие перед лицом смерти. <...> Генетика не погибла в Советском Союзе потому, что за нее в застенках погибли Н.И.Вавилов, Г.Д.Карпеченко, С.Г.Левит, Г.А.Левитский, И.И.Агол, потому что многие приняли за нее мученический венец, пошли на бесславное прозябание, отказались ради нее от доблести. <...> Перед лицом ГУЛАГа невозможно испытывать ничего, кроме того, что должен испытывать тушканчик перед тем, как он прыгает в пасть удава. Удаву оставалось только раскрывать пасть. Даже думать, как бы обжорство не повредило драгоценному здоровью, не нужно. Все шито-крыто, а узнают — не поверят. Страна победившего социализма. В этих условиях генетика не погибла, и наличие смельчаков —



Иллюстрация к статье Р.Л.Берг «Почему курица не ревнует» в журнале «Знание — сила».

одна из причин того. Мера опасности — мера смелости».

И вот я держу в руках совсем новую книгу «Почему курица не ревнует», любовно собранную Е.В.Кирпичниковой-Берг и М.Д.Голубовским и изданную к 100-летию юбилею Р.Л.Берг. Вспоминаю, что читал ведь в студенческие годы и эту ее статью о курице, и о разнице между кошкой и собакой, и другие эссе Раисы Львовны в журнале «Знание — сила». Хороший был журнал, и многое в нас воспитывал, но в книге впервые опубликованы полные тексты, не обкорнанные страхом и конформизмом тогдашних редакторов. Все эти эссе собраны в замечательном разделе «Научно-поэтические очерки о тайных гранях жизни».

В книге почти 296 страниц, в основном различные тексты самой Раисы Львовны — и ее научные открытия, и яркие популярные эссе, и ценнейшие воспоминания. Материалы эти она собиралась поместить во второй том своих избранных трудов, который так и не был издан, а первый вышел 20 лет назад (Берг Р.Л. Генетика и эволюция. Новосибирск, 1993. 284 с.).

Вступительная статья М.Д.Голубовского начинается словами «Есть люди, о которых хочется сказать: «Явление природы!»», а в конце он особо отмечает в Раисе Львовне «аристократизм ее духа и неприступность духовной территории». Ученица великого генетика Г.Мёллера, генетик и эволюционист Р.Л.Берг — дочь знаменитого ихтиолога и гео-



Обложка книги Р.Л.Берг «Почему курица не ревнует? Эволюция и жизнь». Санкт-Петербург, 2013.



Графика «абстракциониста восемнадцатого века»: «Танец» (слева) и «Крылья».

графа Льва Семеновича Берга. Она родилась в Санкт-Петербурге за год до начала Первой мировой войны, в 1935 г. окончила Ленинградский университет, там же аспирантуру в 1939 г.; разделила судьбу многих советских генетиков в лысенковские годы. И продолжила свой собственный путь: 30 лет полевых экспедиций; открытие и исследование вспышек мутабельности у дрозофил и открытие «генов-мутаторов»; работа по эволюционной морфологии растений (корреляционные плеяды П.В.Терентьева), по популяционной генетике наследственных болезней человека; занятие наукой и преподавание в Ленинграде, Новосибирске. В 1974 г. — эмиграция сначала в Европу (в Риме пишет автобиографию), успевает поработать в Италии с местными популяциями дрозофил, через год уезжает в США и там снова — работа. В 1990-х она переезжает в Париж.

Поэтический и бескомпромиссный язык Раисы Львовны узнаваемо звучит в очерках о бесстрашных гениях и рыцарях эволюционной биологии. Очерки о В.И.Вернадском, И.И.Шмальгаузене, А.А.Любищеве и Л.С.Берге — она писала их для французского словаря по эволюции и дарвинизму (Париж, 1996), а по-русски они впервые публикуются в этой книге. Через 60, через 70 лет после тех событий мы все еще продолжаем по крупицам собирать и узнавать, казалось бы, навсегда утраченное.

В разделе «Мужество противостояния» помещены воспоминания о Б.Л.Астаурове, В.В.Сахарове, Р.А.Мазинг, Н.В.Тимофеев-Ресовском — за честь которого Раиса Львовна вступится уже в 1980-х в настоящих сражениях с немецкими «политкорректораами»!

Особо выделяется и трагический очерк об Эдне Бриссенден, дочери американской коммуни-

стки. В 1937 г. 15-летней ученицей 8-го класса она пришла к 24-летней Раисе Львовне обучаться генетике и стала ее ближайшей сотрудницей и соавтором. Мать Эдны работала секретарем у Н.И.Вавилова. Раиса Львовна пишет: «В 1940 году арестовали Вавилова и в том же году Карпеченко. В знак протеста Эдна ушла из Университета. Она говорила, что в Америке, в ненавистной ей Америке, ни один студент не остался бы. Я спросила ее, чем же она будет заниматься. Она отказалась ответить. Сказала, что есть вещи поважнее науки». И мать, и дочь умерли от голода в ленинградскую блокаду.

В ИЦиГе Раиса Львовна стала одним из 46 подписавших 19 февраля 1968 г. письмо в защиту А.Гинзбурга, Ю.Галанскова, А.Добровольского и В.Лашковой. Это было ярким проявлением гражданской активности интеллигенции в 1960-е годы.

В книгу включена подробная запись бесславного заседания парткома ИЦИГа от 4 апреля 1968 г. Сохранились подобные тексты-протоколы и в других институтах Академгородка, где «разбирали». Но здесь свидетельство уникальное — стенограмма, сделанная самой Раисой Львовной, объектом разборки. Она записала все слово в слово, как студенты ведут конспекты на лекциях!

Книга богато украшена абстрактно-декоративными, фантастическими рисунками (бумага, тушь), которые Раиса Львовна постоянно создавала в 30–40-е годы, не слишком подходившие для феерических арабесок. Последняя выставка ее картин состоялась в 1982 г. в Париже. «Я имею возможность сказать сокровенное, рисуя... Я — абстракционист восемнадцатого века», — говорила сама художница, возвращая нас в те времена, когда все было еще хаотически смешано, когда мы не знали ни клеток, ни хромосом, а тайны бытия казались вечными. Тайны эти и отображены в завихрениях ее арабесок — графических прозрениях-предвидениях, в которых сегодня можно угледеть конформации ДНК и белковых молекул. На обложке книги видим правильно подобранную, не ревнующую, но все равно фантастическую курицу работы другого парижанина, Марка Шагала.

Конечно же, она была художником — прежде всего в своем слове, т.е. поэтом. Именно это, драгоценное, поэтическое ее объяснение научных истин ловили мы в ранней юности со страниц популярных журналов. Вот в книге воспроизведен очерк «...Играя со смертью» (первая публикация — «Зна-



Л.С.Берг с дочерью Раисой и сыном Симоном. 1916 г.

ние — сила». 1966. №4). Она писала: «...От хромосом получен сигнал — ...и сочный плод персика окрашивается в коричнево-красный цвет, приобретающий в тени тот густо-лиловый оттенок, который так радует глаз на полотнах старых мастеров...» И далее: «Взаимоотношения со средой — сложные, порой благоприятные, а порой роковые — вносят элемент неопределенности, непредсказуемости в исход борьбы. Эту неопределенность мы и называем случаем, а исход борьбы — отбором. <...> Так жизнь и лавирует между Сциллой и Харибдой — между опасностью мутаций и угрозой гибели от потери приспособляемости. Жизнь готова пожертвовать даже устойчивостью наследственной информации, лишь бы одолеть

хаос и разрушение, лишь бы сохранить самое себя».

Интересны в книге редкие фотографии, из которых, конечно, задерживает на себе взгляд семейное фото 1916 г. — трехлетняя Раиса и ее брат Симон в рубашках с матросскими воротничками, и еще чернобородый 40-летний географ Л.С.Берг. Все трое невесело смотрят в еще неразличимое будущее.

Закончить хочется словами Раисы Львовны, написанными ею в 1972 г.: «...Так живое добывает и теряет, и вновь завоевывает свободу, так выбор заменяется творчеством, и создатель обретает право не только безнаказанно, но и с пользой для себя вкушать от древа познания добра и зла. Расширяются границы самой свободы. Во славу ее написаны строки». ■

Биология. Ботаника. География

С.М.Разумовский. ТРУДЫ ПО ЭКОЛОГИИ И БИОГЕОГРАФИИ (полное собрание сочинений). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 722 с.

Это наиболее полное собрание работ отечественного классика фитоценологии и фитогеографии Станислава Михайловича Разумовского (1929—1983), разработавшего фундаментальный подход к изучению эволюции сообществ организмов — структуралистскую теорию функционирования биоценоза, которая стала одной из основ нового, развивающегося направления в изучении эволюции — экологической биологии развития.

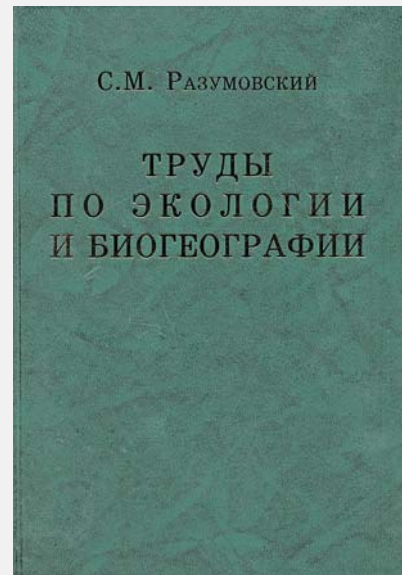
Теория Разумовского основана на признании того, что большая часть совместно обитающих видов влияет на эволюцию друг друга, а их коэволюция приводит к образованию ассоциаций видов — основных элементарных структурных единиц биосферы. В работах автора рассматривается расчленение растительного покрова с позиций фитоценологии (синдинамики). Именно Разумовский является автором термина «динамическая», или «сукцессионная система», который означает последовательность сообществ, способную самовосстанавливаться после нарушения и возвращаться в наиболее устойчивое состояние. Виды разделяются на ценофильные, входящие в сообщества, и ценофобные, располагающиеся в нарушенных территориях между сложившимися устойчивыми сообществами.

Признание коэволюции видов, в результате которой образуются ассоциации и ценотические системы, ведет к существенной перестройке всей экологии и биогеографии. Предметом их изучения становятся прежде всего ценотические системы, а не произвольно взятые участки поверхности Земли, которые именуются экосистемами. На уровне сообществ необходимо изучать ассоциации, из которых они состоят, и их динамику (эндогенные, или экогенетические сукцессии). При этом ареалом ценотической системы является минимальный биогеографический выдел.

В книге два больших раздела. Первый, «Отдельные ценотические системы», открывает основная работа по данной теме: «Закономерности динамики биоценозов», остальные публикации даны в хронологическом порядке. Второй раздел, «Биогеография», начинается с «Введения в географию современного растительного покрова» и построен аналогично первому. Критерием распределения по разделам стал исключительно масштаб рассмотрения биологической структуры биосферы.

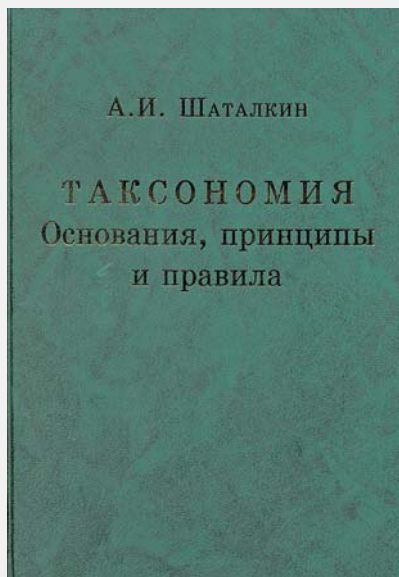
Настоящее издание гораздо полнее «Избранных трудов», изданных в 1999 г. тиражом 600 экз. Оно дополнено как опубликованными, так и неопубликованными работами, в числе последних — дипломная работа Разумовского, его кандидатская диссертация и статья «Особенности функционирования сукцессионных систем на Крайнем Севере».

Цель настоящего издания — ознакомление возможно более широкого круга биологов с идеями Разумовского — ради этого тексты были адаптированы, а латинские названия растений дополнены их русскими эквивалентами.



Биология

А.И.Шаталкин. ТАКСОНОМИЯ. ОСНОВАНИЯ, ПРИНЦИПЫ И ПРАВИЛА. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 600 с.



Систематика занимает особое место среди биологических наук, так как является хранительницей знаний, которые она в сжатой форме выражает через особый тип классификаций, суммирующих наиболее существенные стороны строения организмов. Таксоны — элементы естественной классификации, а таксономия — теория и практика построения системы организмов.

В книге с исчерпывающей полнотой изложены основные положения таксономии, ее важнейшие результаты и наиболее значимые проблемы. Автор отошел от традиционного порядка рассмотрения материала через анализ классификаций и сосредоточил внимание на понятии естественной системы, в котором видит ключ к решению большинства таксономических проблем. В книге рассмотрены такие проблемы, как: разграничение таксономических и нетаксономических групп, соотношение таксона и системы, проблема монотипических групп и концепция рангов, сходство и родство, проблема парафилии, объективный статус систематических групп и их иерархий. На основе проведенного анализа основных понятий таксономии формулируется представление о композиционной структуре «Системы организмов».

Автор поставил перед собой задачу привести основные понятия систематики и таксономии в соответствие с требованиями и запросами биологических наук сегодняшнего дня, чтобы они отражали современные сдвиги в концептуальном осмыслении эволюционных проблем, достигнутые благодаря биологии развития, генетике и молекулярной систематике (геносистематике).

Физика

Л.Б.Окунь. О ДВИЖЕНИИ МАТЕРИИ. М.: Физматлит, 2012. 228 с.

Книга посвящена разъяснению различных тонких вопросов преподавания физики. В нее вошли тексты 14 статей и докладов, написанных в основном за последние 10 лет. Основное внимание уделено преподаванию специальной теории относительности и соотношению в ней между массой и энергией покоя. Одна из глав посвящена самой знаменитой в мире формуле — $E = mc^2$. В ней прослежены формулировки соотношения между массой и энергией в трудах А.Эйнштейна с 1905 по 1955 г. Вторая рассмотренная тема — включение гравитационного взаимодействия в Стандартную модель элементарных частиц на основе применения диаграмм Фейнмана. Особое внимание уделено вопросу о рациональном выборе систем физических единиц, о преимуществах той или иной системы единиц, о достоинствах и недостатках Международной системы СИ.

Первые 11 глав воспроизведены на русском языке, три последних — на английском. Книга адресована прежде всего профессиональным физикам, но многие ее страницы могут заинтересовать и более широкий круг читателей.



Последний конкистадор Британии

С.В.Белов,
доктор геолого-минералогических наук
ОАО «Зарубежгеология»
Москва



Помните, вы — англичане и потому уже выиграли главный приз в лотерее жизни.
Сесил Родс

Геологическая судьба забрасывала меня в разные страны Африки, в том числе дважды — в Зимбабве. Эта удивительная, богатая полезными ископаемыми страна как будто рассечена надвое Великой дайкой — гигантской, заполненной магмой, трещиной в земной коре шириной более 10 и длиной более 500 км. Она возвышается в рельефе и протягивается с северо-востока на юго-запад. С Великой дайкой связаны уникальные месторождения платины, золота, хромитов, никеля, меди, кобальта [1]. Да и вообще юг Африки — настоящая кладовая разнообразных полезных ископаемых, борьба за которые стала главным содержанием истории этого континента. Связаны минеральные богатства страны и с современной политикой.

Как-то на пути из Хараре к Великой дайке наша «Тойота» была вынуждена съехать на обочину и остановиться, чтобы пропустить кортеж президента Зимбабве Роберта Мугабе, несшийся на одну из загородных резиденций. Впереди и сзади президентского бронированного «Линкольна» в машинах охраны, оцетинившись пулеметами, сидел готовый стрелять на поражение непальский спецназ (непальцы считаются лучшими воинами). Я достал фотоаппарат, собираясь направить его на приближающийся необычный кортеж, но африканец-шофер, схватив меня за руку, объяснил, что непальцы могут запросто полоснуть пулеметной очередью. Такие суровые меры — следствие появления в джунглях «борцов за свободу». Дело в том, что в последние годы президент Мугабе развернул свою политику на 180°. Он начал активно сотрудничать в сфере минеральных ресурсов с главным на сегодняшний день противником США — Китаем. Проявил интерес к зимбабвийским недрам и российский бизнес. Этого оказалось вполне достаточно, чтобы из разряда «демократических диктаторов» Мугабе скатился в клан «душителей свободы».

США выразили «серьезную озабоченность» соблюдением в стране прав человека, а в джунглях тут же появились отряды борцов за свободу. Контроль над крупнейшими запасами хрома и платины, содержащимися в месторождениях Великой дайки, а также над расположенной южнее богатейшей золотоносной провинцией Витватерсранд и алмазами, рожденными в так называемых трубках взрыва [2], — лакомый кусочек, который дорогого стоит. Все, в общем, почти так же, как и 100 лет назад, во времена последнего конкистадора Британии, о котором сегодня наш рассказ.

Начало пути

Уже не многие помнят, что столетие же назад эта территория называлась Родезией — по имени британского искателя приключений, бизнесмена и государственного деятеля Сесила Родса (Cecil



Великая дайка Зимбабве протягивается через всю страну.

John Rhodes), создателя огромной частной империи на землях, простирающихся от Египта до Южной Африки и взятых внаем (каково, а?) у самой английской королевы Виктории. Он был не просто владельцем множества приисков и рудников, например знаменитого мирового алмазного монстра — компании De Beers, а относился к тем немногим людям, которые делали мировую историю. Недаром в память о нем стипендия Родса и поныне присуждается лучшим студентам Оксфорда [3].

Итак, 5 июля 1853 г. в семье небогатого английского священника родился мальчик Сесил Джон Родс. В 1869 г. не отличающийся здоровьем, но обуреваемый колониальной романтикой и жаждой денег шестнадцатилетний Родс со своим другом Чарльзом Рудом в компании других искателей приключений отправляется в Южную Африку. В то время там начиналась алмазная лихорадка. Незадолго до того вблизи р.Оранжевой, недалеко от фермы Зендфонтейн, молодой африканский пастух из племени гриква наткнулся на красивый и очень твердый прозрачный камень. Слух об удивительной находке пошел по всей округе. Едва прослышав об этом, фермер и любитель минералов бур* Ван Ньекирк помчался на отдаленное ранчо. Взглянув на камень, он понял — это алмаз. Мальчишка, конечно же, не догадывался о действительной цене найденного им сокровища, а потому быстро уступил настояниям бура. Впрочем, Ван Ньекирк по понятиям гриквы был не просто царственно щедр, а сошел с ума. За небольшой камешек он отвалил 500 овец, 10 волов и лошадь. Целое состояние! Как тут не согласиться на обмен. Бур и в самом деле предложил пастуху все свое движимое имущество, но уже через неделю он с лихвой вернул его стоимость, продав алмаз за 11 тыс. 200 фунтов стерлингов.

Через некоторое время алмаз весом в 83,50 карата попал в руки резчика Луиса Хонда. Тот огранил его в грушевидный бриллиант массой 47,75 карат, получивший название «Звезда Южной Африки» (Star of South Africa) [4]. Вскоре Хонд продал камень за 125 тыс. долл. британскому графу Дадли, отчего камень порой стали называть алмазом «Дадли». Графине Дадли бриллиант служил украшением прически, причем в заколке его окружали 95 мелких алмазов. В мае 1974 г. на женевском аукционе «Кристи» «Звезду Южной Африки» продали анонимному покупателю за 552 тыс. долл. Затем след бриллианта затерялся. Однако вернемся к нашему повествованию.

Предприимчивым людям стало ясно: надо спешить. Среди них оказывается и Сесил Джон Родс. Алмазная лихорадка в Африке не воспета ни Джеком Лондоном, ни Бретом Гартом, и потому проспиртованный Клондайк или дремучий Юкон более известны. Однако нестерпимый блеск «афри-



Сесил Джон Родс.

канской Голконды»** увлек многих подонков мира. Сюда сбегаются представители отбросов общества, алчущие наживы. Алмазная лихорадка рождает стаи саранчи в образе людей, которые поднялись с насиженных мест, чтобы двинуться на поиски драгоценных камней. Блеск их сводил всех с ума — настоящая болезнь, которая еще ждет своего социально-психологического да и медицинского анализа. Это была толпа, не признающая никаких законов и не подчиняющаяся никаким приказам, если они не подкреплялись авторитетом оружия. Всю расцветала преступная экзотика. Однако удача улыбнулась Родсу. Заветные камни найдены на территории фермы, принадлежавшей бурам — братьям Де Бирс. Действуя жестко, а порой жестоко, Родс закладывает основы своего состояния, побеждая в схватке за рынок алмазов. В итоге он объединяет всю алмазную добычу в единый концерн «Де Бирс», увековечив имя бурских фермеров. После этого уже весьма богатым человеком возвращается в Лондон, где поступает в Оксфордский университет и изучает геологию. Он понимает, что, делая ставку на африканские минеральные богатства, надо быть профессионалом. Университет он заканчивает в 1881 г. и вскоре возвращается в Африку.

** Богатейшее государство в феодальной Индии XVI—XVII вв., славившееся добычей алмазов.

* Буры — потомки голландских переселенцев.

Создание собственной империи

Полученные геологические знания, африканский опыт и интуиция подсказывают Родсу, что от устья Нила на юг — через Эфиопию, Судан, Уганду, Кению, Танзанию и далее через сегодняшнюю Зимбабве, почти до Южной Африки — проходит некая зона весьма крупных геологических разломов, которые имеют единую природу. Они обусловлены грандиозными процессами, происходящими в земных недрах. А с ними, как известно, часто связаны богатые месторождения разнообразных полезных ископаемых. Последующие события подтверждают его догадку. В 1880-х годах эта разломная структура получает название Великой рифтовой долины, которое дает ей британский геолог Дж.У.Грегори (J.W.Gregory). Впоследствии внутри Великой рифтовой долины обнаруживаются многочисленные месторождения редкометалльных карбонатитов, а на небольшом удалении — алмазные кимберлитовые трубки [5].

Однако эпоха захвата колоний заканчивается, и Родс с сожалением пишет: «Мир почти весь поделен, а то, что от него осталось, сейчас делится, завоевывается и колонизируется. Как жаль, что мы не можем добраться до звезд, сияющих над нами в ночном небе! Я бы аннексировал планеты, если б смог; я часто думаю об этом. Мне грустно видеть их такими ясными и вместе с тем такими далекими» [3]. У него возникает грандиозный замысел: объединить под эгидой англоговорящего белого человека земли, простирающиеся от Египта до Южной Африки, и создать в итоге всемирную федерацию, где ведущая роль будет принадлежать англоговорящим странам.

Будучи человеком дела, Родс для реализации задуманного вместе со своим партнером Линдером Старром Джеймсоном (Leander Starr Jameson) создает Британскую Южно-Африканскую компанию — по образцу известной Ост-Индской.

Одна из главных задач компании — эксплуатация огромных минеральных богатств обширной территории, которая становится Капской колонией Британии. Но главное заключалось в том, что британское правительство брало на себя все риски по военной защите проекта. В то же время сам Родс и его лондонские банкиры (в первую очередь

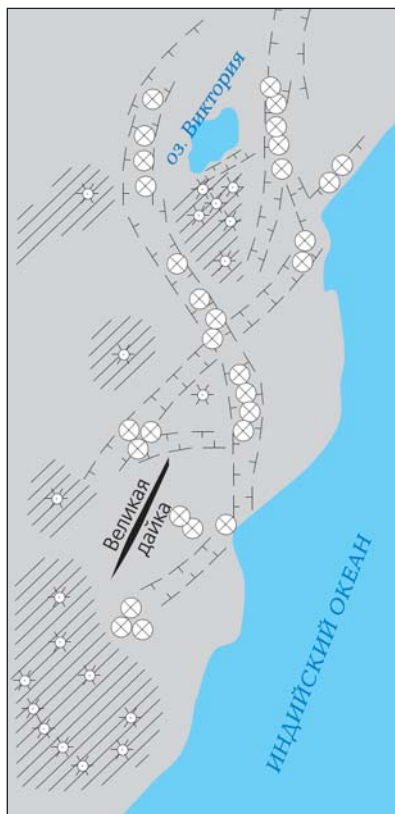
ближайший партнер — лорд Ротшильд) получали все доходы от бизнеса. Богатство и влияние Родса росло как на дрожжах. Проект начинал становиться реальностью. Родс решает использовать свое состояние для распространения британской власти в Центральной Африке и далее на север, вплоть до Египта. Но, не доверяя имперским властям, он планирует создать режим самоуправления с «равными правами для всех цивилизованных людей».

Грандиозность и авантюризм замысла обуславливают неразборчивость в методах. Родс не гнушается использовать людей с сомнительной репутацией. Ведь для достижения великой цели все средства хороши. Часто его действия по принципу «разделяй и властвуй» шокируют окружающих. Он не стесняется говорить в лицо неприятные вещи, да и просто быть жестоким. В 1884 г. Родс начинает присоединение к британским владениям Бечуаналенда — территории к северу от Капской колонии и к западу от Трансвааля. Пять лет спустя он добивается для Британской Южно-Африканской компании специальной хартии, дающей ей право осуществлять управление и обеспечивать развитие огромных областей. В 1890 г. Родс, став премьер-министром Капской колонии, посылает туда конкистадоров во главе

со своим компаньоном Джеймсоном, который разбивает отряды племен амандебеле. Путем изощренной дипломатии и военной силы в 1891 г. Родс вынуждает Лобенгулу — правителя амандебеле — отдать в виде концессии обширные земли, ставшие британскими колониями и названные в честь их завоевателя Южной и Северной Родезией. Впоследствии эти владения стали ядром современных государств — Замбии (1964) и Зимбабве (1980).

Легендарен цинизм Родса. Однажды, обедая в кругу гостей, он вспомнил о восстании племен амандебеле. Забыв дату, он повернулся к лакею (сыну вождя Лобенгулы) и спросил: «Напомни, в каком году я зарезал твоего отца?»...

Это был период, когда политическое и финансовое влияние Родса доминировало во всей Южной Африке. Непокоренным оставался лишь Трансвааль (или Южно-Африканская Республика), где преобладало влияние буров, а проживающие там британцы были лишены политических прав. При поддержке Родса британское население органи-



Великая африканская рифтовая долина. Кружками показаны месторождения редких металлов, звездочками — алмазов.

зовывает заговор против президента Пауля Крюгера. А чтобы ускорить дело, в декабре 1895 г. Родс в частном порядке (но с ведома британских властей) финансирует вооруженное вторжение в Трансвааль с целью свергнуть бурское правительство и объявить страну колонией Великобритании. Руководит наемниками все тот же Джеймсон [6]. Однако его отряд оказывается разгромленным бурами. Пытаясь закамouflировать агрессивный характер своей политики в Южной Африке, английское правительство отдает Джеймсона под суд. Его приговаривают к 15 месяцам тюрьмы. Именно судьба Джеймсона, его рейд, суд, заключение и отношение к нему британской публики вдохновили Р.Киплинга на знаменитые строки стихотворения «Если» («If»): «Владей собой среди толпы смятенной, тебя клянущей за смятенье всех...»*. Джеймсон для Киплинга был отважным сподвижником Родса. Он прокладывает Британии путь в неизведанные страны, умел идти на отчаянный риск, а оказавшись в тюрьме, проклиная даже соотечественниками, отвечал и за свой поступок, и за его провал.

В результате всех этих событий Родс в 1896 г. был вынужден уйти в отставку со всех официальных постов. Казалось бы, его звезда закатилась. Но нет... Родс не бросает в беде своего друга и компаньона, и вскоре Джеймсон оказывается на свободе. Надо было думать, что делать дальше. Обстановка в Родезии оставалась беспокойной. Зрело недовольство африканских племен, которое вскоре прорвалось всеобщим восстанием. И здесь Родс опять проявляет незаурядные дипломатические способности. В 1897 г. он достигает мирного соглашения с восставшими племенами Родезии! Это еще один его триумф.

В ласковые сети

В отличие от большинства мужчин, Сесил Родс принадлежал к редкой породе — он был яростным женоненавистником: «Нет такой обольстительной Саломеи, которая бы своим греховным танцем отвлекла меня от важных дел по созданию новой африканской Англии с телеграфом и железной дорогой — от моих шахт Кимберли до гробниц фараонов в Каире. Я не могу уничтожить всех женщин в мире. Но я способен не замечать этих животных, только мешающих нам, мужчинам, делать свое дело...»**. Однако, не смотря на это, и Родс не избежал ласковых женских сетей.

В начале 1899 г., в один из своих приездом в Лондон, Родс знакомится с полячкой — княгиней Екатериной Радзивилл (ур. Ржевуской). «Она красива и элегантна, но, как многие ее соотечест-



Екатерина Радзивилл.

венники, манерна, высокомерна, кокетка — скорее по расчету, чем по движению сердца. Она ревниво относится к знакам внимания в свой адрес, но обращается с мужчинами так, будто они предназначены лишь для ее развлечения или времяпрепровождения. Она никого не любит, и сама ее не любят. Говорят, впрочем, что она умна и что беседа с ней может быть интересной, однако мало кто имеет возможность судить об этом, так как она чрезвычайно сдержанна, и многие имеют основания считать ее ничтожеством»***, — так писал о Екатерине Радзивилл один из современников. И вот блистательная красавица просит у опытного бизнесмена советов по поводу своих финансовых дел. А что же Родс?

В июле он возвращается в Южную Африку. Тем же парходом туда же (!) плывет и Екатерина Радзивилл. За столом в кают-компании Родс подозрительно озирает женщину в белой кофточке с пышным коком волос. Сначала на все ее вопросы он лишь огрызался, будто бульдог.

* Перевод М.Лозинского.

** *Пикуль В.С.* Дама из «Ютского альманаха» // *Пикуль В.С.* Тайный советник. Исторические миниатюры. М., 2002. С.127—130.

*** Там же.



Так сегодня выглядит вырытый вручную карьер Биг Хоул — знаменитое место добычи алмазов в Кимберли.

«Наверное, алмазы из ваших копей воруют, сэр?» — «О да! — ворчал Родс. — Но по дороге от шахты до барачков всех негров обыскивают».

Екатерина Адамовна втягивала Сесила Джона в беседу, как тянут упрямого бычка на бойню. Следовал следующий деликатный вопрос: «А разве нельзя проглотить добытый алмаз?».

«Негры их и глотают, — мрачно пояснил Родс, — но в конце рабочего дня мы даем им столько касторки, что все алмазы вылетают, как пробки из шампанского, после чего охрана ковыряется, сами понимаете в чем, выискивая драгоценные караты».

«Боже, как грубо!» — ужаснулась княгиня. «Да, — согласился Родс, — самые драгоценные бриллианты воняют дерьмом, и тут уж ничего не поделаешь...».

Радзивилл не плясала перед Родсом танец Саломей, тем не менее он ощутил угрозу своей независимости. Своих секретарей он предупредил: «Это опасная женщина... даже для меня! Прошу не оставлять меня наедине с нею. Мало ли что может случиться в потемках тесной каюты...».

Кажется, Радзивилл вспомнила свою тетку Бальзак, которая преподавала ей уроки женских побед. Она быстро сориентировалась, сменив темы разговоров на политику, чем привела Родса в восторг. Он схватил наживку, как глупый карась. Плавание продолжалось, и спустя время своим попутчикам он стал говорить: «Откуда берутся такие удивительные женщины? Я в Лондоне даже у наших лоботрясов из парламента не встречал столько понимания, какое нашел в этой стыдливой тихоне».

Секретари Родса начали поговаривать: «Наш главный рудокоп, кажется, решил жениться. Как бы в “копи царя Соломона” не забралась эта пассажирка, у которой никто не догадался спросить паспорт...».

«Вы, очевидно, замужем?» — как-то спросил Родс.

«Нет, — скромно солгала Екатерина, — я разведена, так как не нашла в муже понимания своих духовных запросов...».

Что ей был теперь этот усатый майор, когда рядом находился великий Родс, король бриллиан-

тов, премьер Капской колонии и будущий владыка Африки.

По приходу корабля в гавань Родс отвез женщину в свое имение Грут-Муур, где у него была гигантская вилла. Здесь княгиня повела себя как хозяйка. Женскими хитростями она вынуждала писать ей любовные записки, исподтишка наблюдая, как Родс расписывается, и потихоньку училась копировать его почерк. А вскоре служба безопасности Родса известила, что его «невеста», такая милая и обворожительная, передала в банк чек на 29 тыс. фунтов стерлингов, подписанный якобы его рукой... Афера стоила очаровательнице около года тюрьмы. Так закончилась история отношений княгини Радзивилл с последним конкистадором Британии.

Последний проект Родса

Англо-бурская война (1899—1902) стала новым и последним проектом, который финансировал и лично спровоцировал Сесил Родс [7, 8]. Цель — обеспечение надежного английского контроля над богатейшими минеральными ресурсами Трансвааля, находившимися в то время в распоряжении буров. Главными из них были, конечно, алмазы Кимберли и золото Витватерсранда.

Осада Кимберли — один из самых драматичных моментов англо-бурской войны. Городок, основанный в 1871 г. после обнаружения алмазов, поначалу был известен как Нью-Раш («Новая лихорадка»). Лорду Кимберли — государственному секретарю по делам колоний, приехавшему с инспекцией, — название показалось чересчур вульгарным. Секретарь приказал местным властям переименовать поселение. Приказ услужливо исполнили. Местные чиновники назвали быстро формирующийся городок Кимберли, чем государственный секретарь по делам колоний остался очень доволен.

И вот столица алмазного края Кимберли, где находился в то время Родс, была осаждена объединенными силами буров Оранжевого Свободного Государства и Трансвааля. Блокада началась 12 октября 1899 г. и продлилась 124 дня. Шли ожесточенные бои.

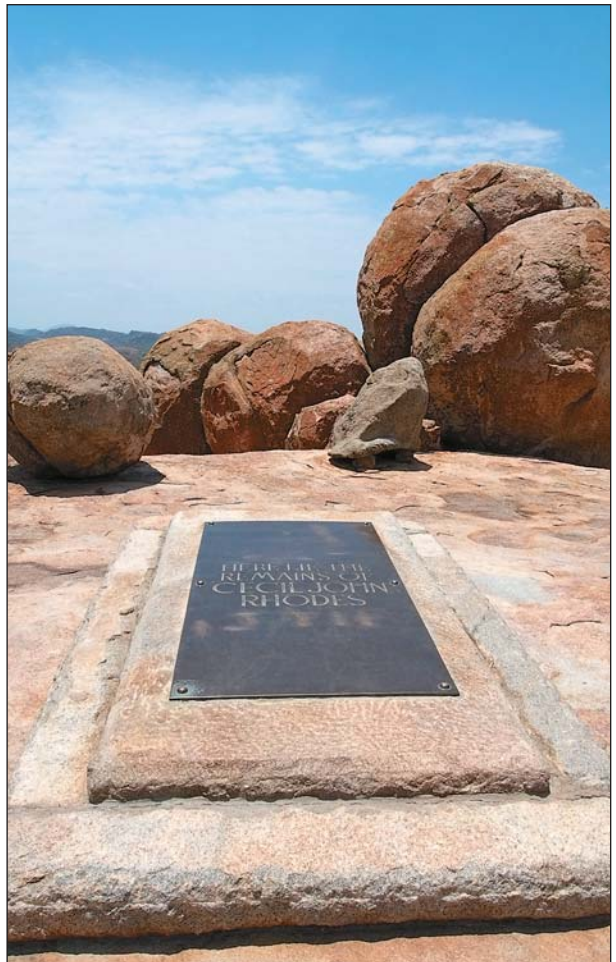
Родс хорошо держался в седле, но был беспешным наездником. В 1899 г., во время одного из эпизодов осады, он упал с лошади и сильно ушибся. Случались у него падения и до того: в 1886 г. в Рэнде и позже, в 1900 г., в Кейптауне, когда он сломал себе три ребра. Все это негативно сказывалось на его здоровье. Родс стойко переносил все превратности и неудобства, выпавшие на его долю. Примечательны его слова, сказанные в тот период: «Я не мог сделать ничего неправильно: все, что я хотел сделать, выходило верно. Моим делом было делать, как мне хотелось! Я чувствовал себя Богом, ни больше ни меньше». И Родс добил-



Родс в минуты отдыха.

ся своего — англичане победили. В память о британцах, павших во время осады города, по заказу Родса был построен The Honoured Dead Memorial — ныне одна из туристических достопримечательностей Кимберли.

Как и все люди, обладавшие выдающимся умом, мощной внутренней энергетикой, последний кон-



Здесь упокоился Сесил Джон Родс.

кстадор Британии был личностью сложной и неоднозначной. Он нажил гигантское состояние и построил империю. Построил методами, многие из которых находятся вне рамок пресловутых «прав человека». Внутренний накал жизни и всепоглощающие амбиции не могли не сказаться на его сердце. Оно остановилось 26 марта 1902 г. Ему бы-

ло всего 48 лет. Передаются последние слова «отца Британской империи»: «Как много надо сделать, как мало сделано». Несомненно, Родс принадлежал к тем людям, которых одни искренне любят, другие яростно ненавидят. Однако он единственный из колониальных политиков, чьим именем в столице Великобритании названа улица. ■

Литература

1. Белов С.В. Великая дайка Зимбабве // Природа. 2011. №7. С.47—51.
2. Белов С.В., Фролов А.А. Посланцы мантийных магм // Природа. 1998. №11. С.44—56.
3. Давидсон А.Б. Сесиль Родс и его время. М., 1984.
4. Шуман В. Мир камня. Драгоценные и поделочные камни. М., 1986. С.72.
5. Фролов А.А., Толстов А.В., Лапин А.В. и др. Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минерагения, прогноз). М., 2005.
6. Garrett F.E. The story of an African crisis; being the truth about the Jameson raid and Johannesburg revolt of 1896, told with the assistance of the leading actors in the drama 1897. L., 2005.
7. Конан Дойл А. Англо-Бурская война (1899—1902). М., 2004.
8. Никитина И.А. Захват бурских республик Англией (1899—1902 гг.). М., 1970.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
М.Б.БУРЗИН
Е.Е.БУШУЕВА
Т.С.КЛЮВИТКИНА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
О.И.ШУТОВА

Выпускающий редактор
Л.П.БЕЛЯНОВА

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
Факс: (499) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 15.04.2013
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать
Заказ 1219
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6

www.ras.ru/publishing/nature.aspx

При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.